

Mixité

Solutions biosourcées - Vol. 2

Sommaire

Préambule

Enjeux et Solutions de la Mixité Bois-Biosourcés

Vertus de la Mixité Bois-Biosourcés
Clés de la Mixité Bois-Biosourcés
Focus - Solutions structurales bois

Boîte à outils : des matériaux aux applications

Le chanvre
La ouate de cellulose
La paille
La fibre de bois
Les fibres végétales

Expériences de la mixité biosourcée

Bazaar Saint So > Bois + Fibre de bois
Village Seniors Alice & Victor > Bois + Paille + Fibre bois + Lin + Chanvre + Coton
Pôle enfance Capcir Garrotxes > Bois + Paille + Fibre bois + Ouate de cellulose
Maison Koad Du > Bois + Ouate de cellulose + Liège + Chanvre
Usine Mobilwood > Bois + Fibre bois + Chanvre
Immeuble de logements en R+8 > Bois + Béton de Chanvre
Résidence Bertelotte > Bois + Paille
Complexe omnisports Le Rebond > Bois + Fibre bois + Ouate de cellulose
Groupe scolaire Samuel Beckett > Bois + Chanvre + Lin + Coton recyclé
Siège du Groupe Olga > Bois + Béton de chanvre préfabriqué

Après un premier ouvrage publié en 2019 consacré à la mixité entre le bois, le métal et le béton, il était naturel qu'une nouvelle publication se penche sur le bien-fondé des solutions mixtes entre le bois et les autres matériaux biosourcés. Ces associations répondent parfaitement aux enjeux environnementaux et aux exigences techniques et réglementaires : utilisant des matières renouvelables, stockant du carbone, réclamant peu de transformation ; le tout grâce à des solutions de mise en œuvre en techniques courantes.

Les solutions mixant les composants structuraux bois avec les produits biosourcés en enveloppe apportent ainsi une triple réponse aux attentes pour une construction vertueuse : faible impact environnemental, performance technique, confort augmenté pour l'utilisateur.

Avec un panorama des solutions constructives bois, une boîte à outils des matériaux biosourcés et des retours d'expérience détaillés, ce volume s'adresse à tous les acteurs de la maîtrise d'œuvre et de la maîtrise d'ouvrage : architectes, bureaux d'études, promoteurs immobiliers, aménageurs publics ou privés, bailleurs sociaux, etc.

Il intéressera aussi les entreprises ayant besoin de mettre en œuvre des produits biosourcés pour décarboner l'acte de construire, et plus largement tous ceux qui souhaitent découvrir et se familiariser avec les atouts de ces solutions.

Bonne lecture !

Enjeux et solutions de la mixité

Vertus de la mixité bois biosourcés

Un moyen de relever le défi de la neutralité carbone

Signataire des Accords de Paris qui ont conclu la conférence mondiale sur le climat des Nations Unies en 2015, la France s'est fixé l'ambition d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. La Stratégie Nationale Bas Carbone, qui dresse la feuille de route pour chaque domaine d'activité, a défini pour le secteur du bâtiment un objectif de réduction de l'impact carbone de 49 % d'ici 2030⁽¹⁾ et de décarbonation complète pour 2050. Et, depuis janvier 2022, la Règlementation Environnementale 2020 vient appuyer cet objectif aussi ambitieux qu'indispensable en imposant le calcul du stockage carbone et des niveaux d'exigence pour les constructions qui évolueront par palier en 2025, 2028 et 2031.

La transition à opérer représente un défi de taille pour le secteur du bâtiment, responsable de près du quart des émissions de gaz à effet de serre. Un défi que les solutions biosourcées peuvent contribuer à relever. En effet, le bois et les autres matériaux biosourcés permettent une réduction des émissions de gaz à effet de serre allant jusqu'à 60 % par rapport à des solutions dites traditionnelles⁽²⁾, tout en stockant du carbone pendant toute la durée de vie d'un bâtiment. Des solutions qu'il est urgent de déployer à grande échelle, en construction neuve

tout comme en rénovation, cette dernière s'imposant comme une priorité pour réduire l'impact du parc existant.

Un retour aux sources et un terrain d'innovation

Occultée depuis la fin de la Première Guerre mondiale par le développement industriel de plusieurs systèmes constructifs (pré-dalles, refends et voiles de façades, portiques métal, isolants issus des produits pétroliers ou minéraux, etc), la mixité bois-matériaux biosourcés a pourtant toujours existé. Le patrimoine historique français est là pour en témoigner, elle constitue un savoir-faire ancestral, né à l'époque où les constructions étaient réalisées à partir de ressources locales, que les charpentiers savaient intelligemment marier pour rendre les bâtiments protecteurs et durables.

Il n'est pourtant pas question ici de plaider pour un retour en arrière, mais bien de s'inscrire dans une filiation vertueuse avec des solutions fiabilisées et conformes aux exigences contemporaines. Les produits d'ingénierie bois comme les isolants biosourcés ont en effet, au cours des 20 dernières années, ouvert de nouveaux champs de possibles. Les techniques de lamellation du bois ont donné naissance, à partir des années 1950, à des produits de structure industrialisés performants et résistants comme le bois lamellé collé, le bois lamellé croisé (CLT⁽³⁾) ou le lamibois (LVL⁽⁴⁾). Les innovations industrielles ont permis d'exploiter à la fois les ressources naturelles renouvelables (à l'exemple du chanvre) et les matières recyclées (journaux ou textiles) pour développer des produits isolants apportant de nouveaux bénéfices en matière de performance comme de confort. La multiplication des

outils industriels, la recherche continue d'améliorations et la forte croissance des capacités de production permettent de répondre à une demande en constante progression. Et le chemin de l'innovation ne fait que débiter : le chanvre ou le bois investissent maintenant le terrain des bétons végétaux, des panneaux isolants sont réalisés à partir d'herbe ou de paille hachée, des peintures à base d'algues, des revêtements de sol avec des bioplastiques issus de plantes et de matériaux recyclés... En un mot, une révolution est en marche pour la construction.

Une dimension nouvelle pour la conception architecturale

Si les innovations apportées par le bois et les matériaux biosourcés redéfinissent la manière d'exercer l'ensemble des métiers du bâtiment, elles donnent aussi une dimension nouvelle à la conception architecturale. Plusieurs facteurs concourent à cet enrichissement : la légèreté, la résistance et la modularité des structures bois bien sûr, qui autorisent une liberté et une créativité dont de nombreux ouvrages présentés dans ce livre témoignent. La précision de la conception en amont de ces structures est également une source de valorisation et de maîtrise accrue des architectes sur leur œuvre.

Mais, et c'est sans doute l'évolution fondamentale la plus marquante, la mixité bois biosourcés donne aussi l'occasion aux architectes de se réappropriier le sens de la matière. Bois, chanvre, ouate, paille... exercent chacun une influence sur le ressenti des personnes qui les côtoient. Avec des caractéristiques physiques et des impacts particuliers à chaque matériau (par exemple la régulation de l'hygrométrie, les capacités de déphasage ther-

mique ou les effets de parois tempérées), ils proposent un confort augmenté dont l'architecture peut s'emparer.

Des ressources locales renouvelables pour une économie française vertueuse

Le bois issu de forêts gérées durablement (c'est-à-dire garantissant leur renouvellement, comme c'est le cas avec les certifications PEFC® et FSC®) et les matériaux biosourcés issus de la biomasse végétale sont des ressources renouvelables qui allient performance technique et séquestration carbone. Ils sont donc de précieux alliés, et d'autant plus si leur production est la plus locale possible. Que ce soit du point de vue du bois ou des matériaux biosourcés, la France a la chance de disposer d'importantes ressources naturelles et d'un socle industriel qui lui permettent de déployer cette transition bas carbone tout en retrouvant une plus grande autonomie nationale d'approvisionnement.

Sur le plan du bois, notre territoire possède un patrimoine forestier conséquent et en croissance⁽⁵⁾, un potentiel de production de bois d'œuvre (à titre comparatif, l'Allemagne produit 3 fois plus de bois d'œuvre que la France pour une surface forestière plus de 60 % inférieure⁽⁶⁾) ainsi qu'une industrie de transformation en

(1) Par rapport à 2015.

(2) Source : Institut Français pour la Performance du Bâtiment (IFPEB) & Carbone 4, brief de filière Biosourcés, 2021.

(3) CLT : Cross Laminated Timber ou bois lamellé croisé.

(4) LVL : Laminated Veneer Lumber ou lamibois.

(5) 19 millions d'hectares, soit un tiers de la surface métropolitaine, 4^e surface forestière d'Europe, multipliée par 2 depuis la fin du XIX^e siècle.

(6) Source : FCBA, état des lieux de l'amont de la filière forêt-bois en France, 2019.



**Nouveau siège de l'Office national
des forêts à Maisons-Alfort (94)**

Une construction en bois français (avec dalle et noyaux
béton), qui met en œuvre une isolation biosourcée
à base de fibres d'herbe. Niveau E3C2 du label E+C-
et niveau Excellence du label Bâtiment Bas Carbone.

Maître d'ouvrage : Office national des forêts.

Maîtres d'œuvre : VLAU (Vincent Lavergne Architecture
Urbanisme) et Atelier WOA. BET structure : Elioth.

Surface : 7600 m². Livraison 2022.

(Photo : © Sergio Grazia)

plein essor. Cette dernière fait l'objet d'importants investissements, notamment à travers les Programmes d'Investissements d'Avenir (PIA), afin d'augmenter massivement la production de produits d'ingénierie bois français d'ici 2030 (en 2019, la part de bois issu d'essences locales et transformées en France était estimée à 30%⁽⁷⁾).

Du côté des matériaux biosourcés, la France dispose d'unités de production réparties sur l'ensemble du territoire, qui utilisent en circuit court les ressources locales (bois, chanvre, lin, papier et textile recyclé) produites par les filières agricoles et les filières de recyclage. La France est d'ailleurs déjà le premier producteur européen de plantes à fibres⁽⁸⁾ et l'ensemble de ces filières, en constant développement, représente un puissant vecteur d'innovations et de création d'emplois non délocalisables.

Un changement de paradigme dans l'évaluation des performances du bâti

La résistance thermique demeure la caractéristique essentielle d'un isolant au regard des calculs réglementaires, les apports des biosourcés élargissent la notion de performance globale de l'enveloppe. Reconnus pour réduire les ponts thermiques, les murs à ossature bois accompagnés d'isolants biosourcés forment un mix efficace de matériaux hydrophiles, naturels, ouverts à la diffusion de vapeur et aux échanges, et donc favorisant la régulation hygrothermique. Chaque isolant biosourcé présente ses propres caractéristiques de densité et d'inertie mais tous ont en commun d'assurer une « respirabilité » de l'enveloppe, qui influe sur de potentiels phénomènes

de condensation et le développement de moisissures nuisibles à la pérennité du bâtiment, ainsi qu'à la santé de ses occupants. Ce comportement actif des parois est appréciable été comme hiver : en été, leur temps de déphasage permet de restituer la chaleur accumulée le jour quand il fait plus frais la nuit et, en hiver, la température de leurs parois (effet de « paroi chaude ») diffuse la chaleur par rayonnement, augmentant ainsi la sensation de confort et de température ressentie. Côté acoustique, les isolants biosourcés font partie des matériaux fibreux qui permettent de réaliser des parois sur le principe masse-ressort-masse. Associés à une structure bois, certains d'entre eux (par exemple le coton recyclé ou le liège) sont donc particulièrement adaptés pour améliorer le confort acoustique des murs comme des planchers.

Un réel apport en matière de confort

Les témoignages des utilisateurs de chacune des réalisations présentées dans ce livre sont unanimes : l'alliance des structures bois et des isolants biosourcés offre un niveau de confort remarquable. Les impressions qui sont le plus souvent évoquées par celles et ceux qui habitent ou travaillent dans ces ouvrages sont :

- La sensation de vivre dans une atmosphère saine et apaisante, par exemple dans les écoles, où le retour en classe et à la concentration se fait plus rapidement, ou encore dans les habitations, où certaines personnes disent avoir gagné en qualité de sommeil.
- Le côté chaleureux et lumineux de la trame des structures bois apparentes.
- L'aspect tempéré de l'environnement avec, chez les personnes qui habitaient auparavant dans des structures construc-

tives conventionnelles, la sensation de vivre toujours avec la bonne température, été comme hiver.

- Le confort sonore feutré, particulièrement apprécié dans l'univers du travail et dans les environnements sujets au bruit comme les écoles ou les salles de sport.

Clés de la mixité bois biosourcés

Une palette de solutions pour conjuguer performance et responsabilité environnementale

Issus de ressources naturelles renouvelables ou du recyclage et stockant le carbone pendant toute la durée de vie d'un bâtiment (et même au-delà si leurs potentiels de réemploi sont exploités), les matériaux biosourcés constituent des atouts majeurs dans la trajectoire vers la décarbonation de la construction. Ils couvrent aujourd'hui de multiples applications : bois de structure, bétons et mortiers, isolants, peintures, revêtements intérieurs et extérieurs, produits d'aménagement intérieur, menuiseries, etc. Organisés autour de plusieurs filières, les matériaux biosourcés apportent des réponses performantes en neuf comme en rénovation dans tous types de bâtiments : locaux d'habitation, établissements recevant du public, bureaux, bâtiments industriels.

Panorama des matériaux biosourcés d'aujourd'hui...

Ayant tous en commun une empreinte carbone réduite, les matériaux biosourcés revêtent aujourd'hui de nombreuses formes et fonctions.

- La fonction structurelle avec le bois d'œuvre et les produits d'ingénierie bois (voir Focus « Les possibilités structurales du bois » page 15).
- L'isolation, avec des matériaux tels que la fibre de bois, le chanvre, la ouate de cellulose, la paille, le coton recyclé, le liège ou les autres fibres végétales telles le lin, le coton, etc. Utilisés en isolation des murs, toitures, cloisons, planchers, par l'intérieur ou par l'extérieur, ces isolants se classent en 4 grandes familles : les isolants rigides sous forme de panneaux, les isolants semi-rigides sous forme de panneaux flexibles ou de laine, les isolants en vrac à insuffler et les bétons et mortiers végétaux utilisés en remplissage, qui associent un granulats végétal comme le chanvre avec un liant minéral.
- Le revêtement extérieur, qui regroupe des matériaux composites comme les lames de bardage ou de terrasse à base de bois ou de chanvre (comme charge en substitution de charges minérales, dans une matrice polymère).
- L'aménagement intérieur, avec une grande diversité de produits : sous-couches acoustiques, baffles acoustiques, peintures, linoléums, revêtements muraux, etc.

(7) Source : analyse issue de la Note de préconisation « filière bois » pour les JOP 2024, réalisée dans le cadre de France Bois 2024 - FCBA 2019.

(8) Source : Institut Français pour la Performance du Bâtiment (IFPEB) & Carbone 4, brief de filière Biosourcés, 2021.



Maison Bayard, Paris 8^e

Réunissant 3 bâtiments (2 immeubles haussmanniens réhabilités et une construction neuve), la restructuration de cet îlot a donné naissance à un ensemble de bureaux abritant le premier R+7 majoritairement en bois du triangle d'or parisien, avec une isolation des façades-rideaux et des planchers en fibre de bois.

Maître d'ouvrage : Lasalle Investment Management & Nexity. Maîtres d'œuvre : Axel Schoenert Architectes (conception) et AIA Management (exécution). BET structure : AIA Ingénierie. Surface : 8200m². Livraison 2021.

(Photo : © Simon Guesdon)

... et perspectives sur les biosourcés de demain

La filière biosourcée est particulièrement dynamique et de nombreuses innovations sont en cours de développement pour accélérer l'appropriation des matériaux biosourcés et leur généralisation. Parmi toutes celles-ci, on peut notamment citer :

- Le bois qui, côté structure, poursuit sa dynamique d'innovation avec par exemple la mise au point de planchers préfabriqués hybrides bois-béton ou le développement de bois lamellé structural à partir d'essences de feuillus, qui composent la majorité des forêts françaises.
- Le chanvre qui donne également lieu à de nombreuses évolutions : la préfabrication des murs à ossature bois et béton de chanvre est maintenant entrée dans une logique industrielle (pour plus de détails, voir la réalisation 10 utilisant cette technique, l'extension du siège du groupe Olga) et des blocs de béton de chanvre sous Avis Technique, à vocation structurelle et isolante, sont d'ores et déjà commercialisés.
- Le recyclage du carton en panneaux isolants, qui offre l'avantage de la finesse et d'associer performance thermique et acoustique (actuellement en phase d'Avis Technique).
- utilisant cette technique pour l'extension pour étendre son utilisation à travers la commercialisation de paille hachée, permettant de l'insuffler dans des caissons en se servant des mêmes cardeuses que celles utilisées pour la ouate de cellulose. Plusieurs projets sous ATex⁽⁹⁾ expérimentent cette solution, avec une perspective d'Avis Technique à l'horizon 2025/2026.
- Des panneaux isolants à base de fibres d'herbe de prairie, qui permettent de valoriser une ressource à croissance rapide,

abondante et disponible dans tous les territoires. Cette solution (qui dispose déjà d'un ATE, Avis Technique Européen) vient d'être mise en œuvre dans le nouveau siège de l'Office national des forêts à Maisons-Alfort.

- Enfin, en aménagement intérieur, l'offre de peintures à base d'algues, d'huiles ou de résines végétales qui s'élargit considérablement, de même que celle des revêtements de sol réalisés à partir de fibres recyclées.

Le développement des biosourcés, une question de pratique

Le développement des biosourcés est d'abord affaire de pratique. L'industrie du bâtiment s'étant structurée à partir des années 1950 autour de quelques matériaux, donner une place aux biosourcés implique de repenser l'ensemble de la chaîne de valeur pour apprendre à concevoir, réaliser et exploiter différemment. Un challenge collectif qui met en lumière l'importance de ne pas opposer les matériaux, mais plutôt de viser une performance plurielle technique, économique et bas carbone, en accompagnant cette démarche d'un nécessaire effort de formation à la mise en œuvre des produits biosourcés. Ces derniers sont en effet encore souvent utilisés, par méconnaissance de leurs spécificités, comme les produits conventionnels, ce qui peut générer des désordres sur les chantiers, alors même que ces matériaux ont largement fait leurs preuves. En témoigne une étude menée par la Mutuelle des Architectes Français Assurances auprès de ses adhérents : sur 50 000 sinistres en cours de gestion, seuls 12 étaient liés à des produits biosourcés et 10 sur les 12 résultaient d'une mauvaise mise en œuvre du produit⁽¹⁰⁾. L'assimila-

tion des pratiques par un nombre grandissant d'acteurs va permettre d'accroître le recours à ces matériaux ainsi que leur compétitivité sur l'ensemble de la chaîne de valeur (économies d'échelle pour les coûts de production, optimisation de la conception et de la mise en œuvre).

Des produits & techniques maîtrisés

À ce jour, de nombreux produits ou procédés biosourcés sont classés comme traditionnels ou en technique courante, validant leur mise en œuvre vis-à-vis des assureurs. Les parties d'ouvrages traditionnelles (relevant d'un DTU, d'une Règle Professionnelle en liste verte C2P, ou d'une Recommandation Professionnelle PACTE), ainsi que celles faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application (DTA, avis favorable), sont affectées en techniques courantes. C'est le cas de la paille en botte pour l'isolation et du chanvre sous forme de béton, qui font tous deux l'objet de règles professionnelles, ainsi que de la fibre de bois, de la ouate de cellulose et du chanvre sous forme de laine, dont l'offre de produits bénéficie pour la plupart d'Avis Techniques. Tous les produits et techniques disposant d'évaluations ou de justifications autres sont du ressort de la technique non courante. Pour autant, elles peuvent être assurées sur la base d'accords spécifiques avec les assureurs, notamment par le biais de procédures de validation telles que les ATex⁽¹¹⁾ par exemple. Enfin, concernant la sécurité incendie, la majorité des isolants biosourcés sont classés E en réaction au feu.

Matériaux biosourcés : de quoi parle-t-on ?

Le terme « biosourcé » caractérise les matériaux entièrement ou partiellement réalisés à partir de matières premières issues de la biomasse végétale ou animale. Il n'intègre pas les matériaux dits « géo-sourcés » (la terre crue ou la pierre par exemple), bien que les matériaux en terre fibrée comme le torchis puissent logiquement s'apparenter à cette famille.

La norme européenne qui définit les produits biosourcés (NF EN 16575) n'impose pas de pourcentage minimum de matière première biosourcée dans un produit (même avec 0,1% de composant biosourcé, un produit peut donc revendiquer son caractère biosourcé). En France, le label d'initiative publique « Bâtiment biosourcé » favorise la transparence en attribuant aux bâtiments un niveau (1, 2 ou 3) en fonction de la masse totale de matériaux biosourcés par m² de surface de plancher.

(9) ATex : Avis Technique d'Expérimentation.

(10) Source : Agence Qualité Construction, Isolants biosourcés : points de vigilance, 2016.

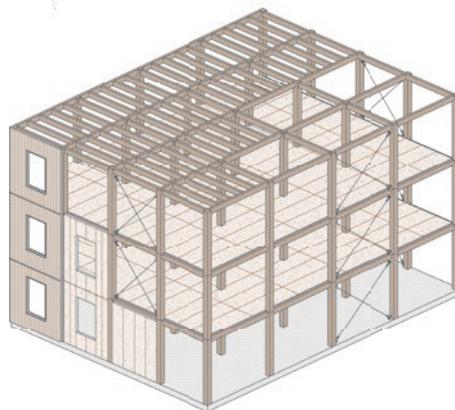
(11) ATex : Avis Technique d'Expérimentation.

Focus : les solutions structurales bois

Largement décrites dans le volume 1 de Mixité consacré aux structures mixtes, les solutions structurales bois forment avec les isolants biosourcés une combinaison d'avenir pour les engagements bas carbone de la France. Indépendamment des procédés de charpente bien connus (charpente en

bois massif traditionnelle ou industrielle, charpente en bois lamellé, en poutres en I ou en CLT⁽¹²⁾, éléments porteurs en bois supports d'étanchéité de toitures-terrasses), voici un aperçu des systèmes constructifs les plus couramment utilisés en association avec les isolants biosourcés.

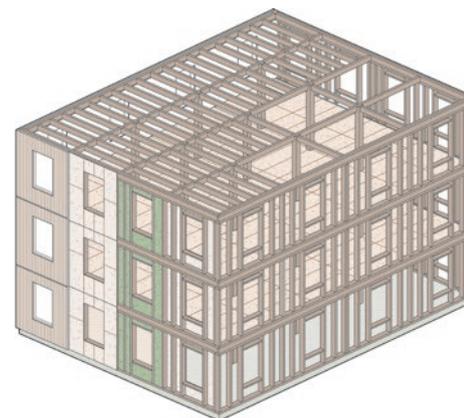
Systèmes poteaux-poutres



Cette technique constructive offre une grande souplesse de conception et autorise de longues portées, ménageant des façades très ouvertes et des volumes libres spacieux. Basées sur des éléments porteurs filaires de fortes sections, les structures poteaux-poutres permettent de franchir la contrainte de hauteur et de réaliser des bâtiments multiétages au-delà de R+5. Elles sont souvent réalisées en bois lamellé ou en bois reconstitué de type BMR⁽¹³⁾ ou LVL⁽¹⁴⁾, tous présentant des performances mécaniques et des capacités de résistance élevées. Les systèmes poteaux-poutres peuvent

recevoir un grand nombre de solutions en enveloppe, parmi lesquelles les façades à ossature bois (FOB) ou les murs-rideaux. Les solivages de plancher intégrés dans les structures poteaux-poutres permettent de concevoir des planchers à entraxes supérieurs, dans lesquels il est possible de faire collaborer mécaniquement bois et béton pour bénéficier des qualités de chaque matériau (résistance en compression du béton et résistance en flexion et traction des nervures en bois en dessous).

Murs et planchers à ossature bois



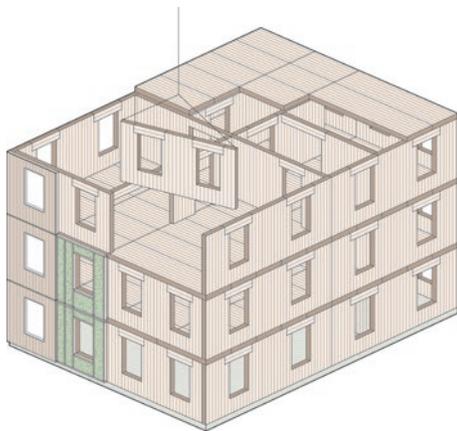
Le principe mécanique du mur porteur à ossature bois repose sur la reprise des descentes de charges par les ossatures en bois (à entraxes de 60 cm, avec du bois de petite section), et des efforts horizontaux repris par les voiles (panneaux) fixés sur ces ossatures. Murs et planchers à ossature bois sont de plus en plus préfabriqués en atelier, avec une valeur ajoutée importante au niveau des fonctions d'enveloppe par l'intégration d'isolants, de réseaux ou de menuiseries (selon le degré de préfabrication). Les murs à ossature bois permettent de réaliser des ouvrages ou parties d'ouvrages jusqu'à 4 niveaux cumulés et accueillant divers types de parements.

(12) CLT : Cross Laminated Timber ou Bois Lamellé Croisé.

(13) BMR : Bois Massif Reconstitué.

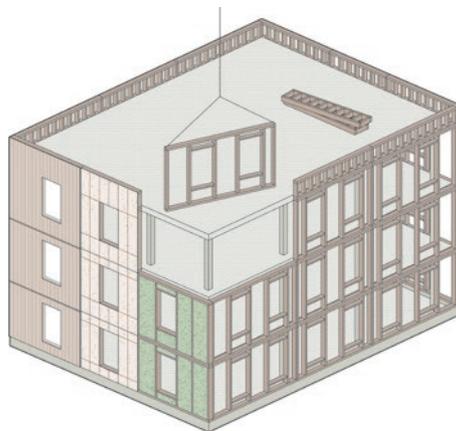
(14) LVL : Laminated Veneer Lumber ou lamibois.

Structure en bois massif CLT



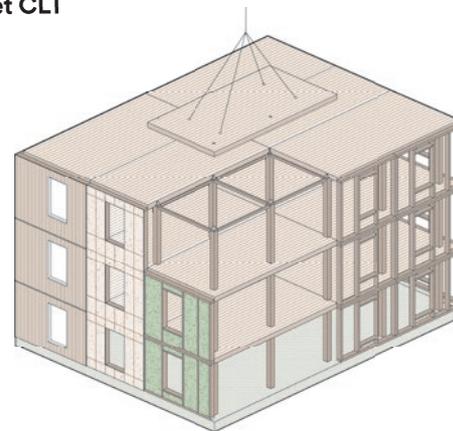
L'usage de panneaux CLT en murs porteurs et planchers présente plusieurs avantages : la rapidité de réalisation, la contribution au confort d'été s'il est positionné en façade, la plage importante de capacités de reprises d'efforts et, pour les planchers, la possibilité d'épaisseurs réduites ou la mise en œuvre d'une chape humide au-dessus. Permettant, comme le système poteaux-poutres, d'édifier des bâtiments de plusieurs étages, les murs CLT peuvent être associés à une ossature métallique ou en béton et être montés sur dalle ou socles en béton. Ils peuvent également reprendre le poids de planchers composites en acier-béton ou bois-béton, ainsi que de prédalles en béton associées à une chape coulée sur chantier. Comme les murs à ossature bois, ils offrent la possibilité de parements extérieurs variés. En mur comme en plafond, le CLT peut être laissé apparent, sous réserve de respect des contraintes liées à la sécurité incendie et à l'acoustique.

Façades à ossature bois (FOB)



Les façades à ossature bois (FOB) sont conçues de la même manière que les murs à ossature bois mais ne sont pas destinées à reprendre les efforts verticaux et horizontaux de l'ouvrage : ce ne sont pas des éléments porteurs. Souvent constituées de panneaux de grande taille (jusqu'à 3 m de hauteur et 12 m de longueur), elles permettent, par leur facilité de montage et leur préfabrication, l'obtention rapide du clos couvert et offrent une épaisseur de paroi réduite en intégrant l'isolation entre montants. Elles peuvent être positionnées sur tout type de gros œuvre en voiles (béton ou CLT) ou en poteaux-poutres (bois, béton ou métal), et sont capables de recevoir un éventail de revêtements extérieurs traditionnels ou non traditionnels.

Structure mixte poteaux-poutres et CLT



De plus en plus courante, notamment dans les immeubles de grande hauteur, l'association de ces deux systèmes constructifs bois permet de tirer parti des qualités intrinsèques respectives de chacun (la liberté architecturale et l'économie de matière pour le système poteaux-poutres et la rigidité du CLT). Plusieurs types de mises en œuvre sont envisageables, les plus courants associant poteaux-poutres en bois lamellé et planchers et/ou refends en CLT, poteaux-poutres et noyaux CLT assurant le contreventement, ou encore poteaux-poutres et voiles de refends en CLT.



Technocentre Renault Odysée, Guyancourt (78)

Odysée fait partie du Technocentre Renault, dont il reprend les codes architecturaux. C'est un immeuble de 5 niveaux, scindé en 2 ailes reliées par un atrium central, qui conjugue recours massif au bois (poteaux, poutres, façade à ossature bois, cages d'ascenseur et d'escalier en CLT) et isolation biosourcée des murs en fibre de bois rigide, permettant d'obtenir une enveloppe très performante.

Maître d'ouvrage : Nexity Immobilier d'Entreprise & Renault SAS. Maître d'œuvre : Artbuild Architectes. BET structure : Ingebois Structures. Surface : 12 250 m². Livraison 2021.

(Photo : © Tristan Deschamps)

Boîte à outils

Les matériaux biosourcés sont issus de la matière organique renouvelable (biomasse), d'origine végétale ou animale. Ils peuvent être utilisés comme matière première dans des produits de construction et de décoration, de mobilier fixe et comme matériau de construction dans un bâtiment.

La nature de ces matériaux est multiple : bois, chanvre, paille, ouate de cellulose, textiles recyclés, balles de céréales, miscanthus, liège, lin, chaume, herbe de prairie, etc. Leurs applications sont tout autant dans le domaine du bâtiment et de la construction : structure, isolants, mortiers et bétons, matériaux composites plastiques ou encore dans la chimie du bâtiment (peinture, colles...).

Ce sont avant tout des matériaux de construction répondant aux exigences du Code de la construction et de l'habitation par des évaluations et des documents techniques permettant de garantir un niveau de qualité aux ouvrages et de sécuriser toute la chaîne d'acteurs impliqués dans l'acte de construire. Une grande partie d'entre eux font l'objet de règles professionnelles, d'ATec ou d'ATex les classant en techniques courantes.

La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte a confirmé l'intérêt d'utiliser ces matériaux dans le secteur du bâtiment.

L'article 5 précise notamment que l'utilisation des matériaux biosourcés concourt significativement au stockage de carbone atmosphérique et à la préservation des ressources naturelles et qu'elle est encouragée par les pouvoirs publics lors de la construction ou de la rénovation des bâtiments.

Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires - Ministère de la Transition énergétique

En savoir plus : www.ecologie.gouv.fr/



1/ Le chanvre

Le chanvre (*Cannabis sativa* L) est une plante à croissance rapide (jusqu'à 3 m en quelques mois) de la famille des Cannabacées.

Cette culture trouve facilement sa place au sein d'un assolement en tant que tête de rotation.

L'absence de produits phytosanitaires dans l'itinéraire technique fait du chanvre une plante à faible impact environnemental et permet indirectement de régénérer la structure du sol et sa fertilité.

Le chanvre a la particularité de favoriser la biodiversité, son couvert se rapprochant de celui d'une forêt.

La filière chanvre

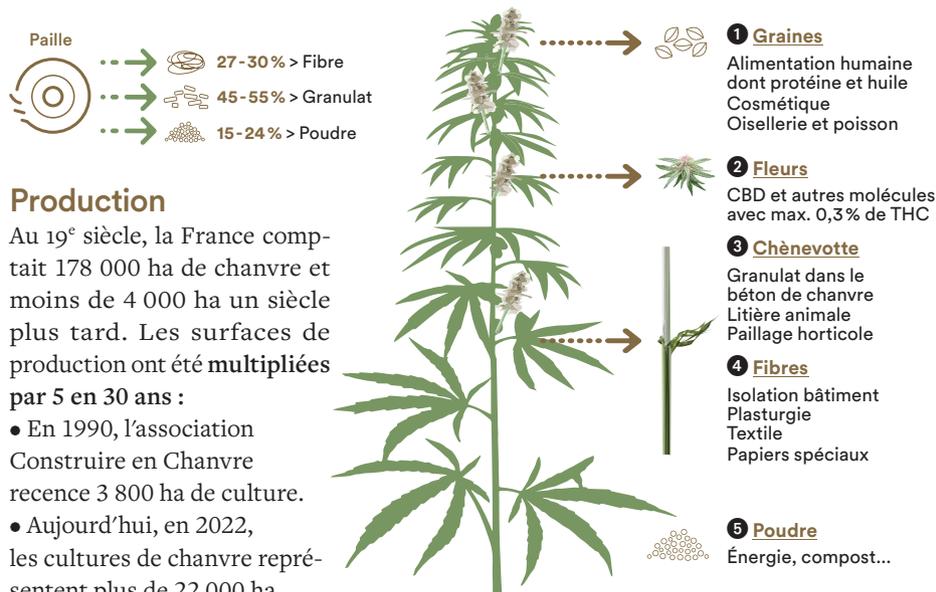
Cette culture annuelle (et renouvelable) est produite localement sans pesticide, sans irrigation et ne génère aucun déchet. De plus, elle permet d'améliorer les rendements agricoles, d'environ 10%, dans la rotation car ses racines profondes et pivotantes drainent généreusement les sols et les régénèrent. Les principaux atouts du chanvre dans la construction, qui participent à son essor depuis ces 20 dernières années, sont :

- Ses performances hygrothermiques (isolation, inertie, hygrométrie).
- Ses caractéristiques mécaniques, sa légèreté et sa résistance au feu.
- Ses qualités environnementales et 100% Made in France.
- C'est un matériau compétitif : exemple 1400 €/m² sur un logement social.

Ressource

Les variétés de chanvre utilisées comptent moins de 0,3% de THC (norme européenne). Elles permettent la fabrication de nombreux produits pour différents marchés (bâtiment, alimentation, textile, automobile, jardin, litière, cosmétique, etc).

À l'issue de la première transformation de la paille de chanvre, différentes matières premières sont obtenues : fibres, granulats (chènevotte) et poudres (poussière). Ce procédé est 100% mécanique (sans chimie). Toutes les composantes de la plante sont donc valorisées et ne génèrent ainsi aucun déchet au sens de la réglementation européenne.



Production

Au 19^e siècle, la France comptait 178 000 ha de chanvre et moins de 4 000 ha un siècle plus tard. Les surfaces de production ont été **multipliées par 5 en 30 ans** :

- En 1990, l'association Construire en Chanvre recense 3 800 ha de culture.
- Aujourd'hui, en 2022, les cultures de chanvre représentent plus de 22 000 ha.

De la ressource à la fin de vie : les atouts

1. Ressource

- La France, leader européen de la production.
- Sans traitement phytosanitaire.
- Sans irrigation.
- 1 ha de chanvre absorbe 15 t de CO₂.
- Renouvellement annuel.

2. Production

- Usine à proximité des producteurs.
- Transformation 100% mécanique.
- Label et cadre réglementaire pour sécuriser la qualité des produits.

3. Conception

- En rouleau ou panneau isolant.
- En sac ou en vrac (chènevotte).
- Béton composé d'un liant (chaux ou ciment naturel), à projeter ou bancher ou en blocs.
- Murs préfabriqués ossature bois et béton de chanvre.

4. Construction

- Règles professionnelles pour l'assurabilité (notamment tests au feu).
- Béton de chanvre ou laine de chanvre.
- Multifonction : enveloppe, cloison, plancher, toiture.
- Préfabrication possible y compris en 3D.

5. Performance

- Performances thermiques, acoustiques et hygrométriques.
- Économies d'énergie.

6. Cycle de vie

- Filière en circuit court et local.
- Transports simplifiés des éléments préfabriqués.
- Déconstruction avec possibilité de recyclage ou compostage.

Produits et caractéristiques

1

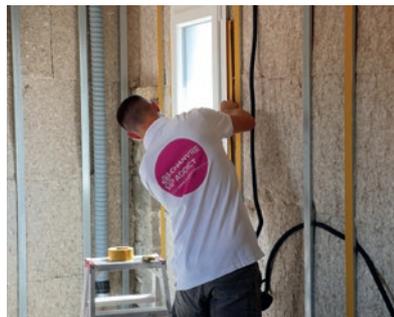


Crédit photo : Batiadvisor

Le béton de chanvre

Constitué de chènevotte (bois de chanvre broyé), d'un liant et d'eau, le béton de chanvre peut être projeté avec une machine adaptée, banché à la main ou empilé en blocs prêts à poser. Il constitue un monomur non porteur qui assure une **excellente interface entre l'extérieur et l'intérieur** et favorise le confort des usagers.

2



Crédit photo : Biofib isolation

La laine de chanvre

La laine de chanvre est commercialisée sous forme de panneaux semi-rigides et de rouleaux. Elle s'utilise pour l'**isolation thermique et phonique** des murs, des cloisons, des planchers, des toitures et comme calfeutrement.

1 **Béton de chanvre** : 2 méthodes d'application, une par projection avec une machine spécifique, l'autre par banchage avec remplissage manuel.

2 **Laine de chanvre** : similaire aux applications standard d'isolation sous forme de laine, elle se fait par voie sèche.

Atouts du béton de chanvre

- Résistant au feu : 240 min.
- Isolant thermique (confort d'hiver), économie de 70% d'énergie (étude Cerema).
- Forte inertie (confort d'été).
- Perspiration : ouvert à la diffusion de la vapeur d'eau.
- Amélioration du confort acoustique.
- Régulation de l'humidité ambiante.

Caractéristiques techniques

	Masse volumique (kg/m ³)	Conduct. thermique (W/m.K)	Capacité thermique (kJ/m ³ .K)	Confort d'été Déphasage (h)	Confort d'été Amortissem. (%)	Acoustique (Rw(C,Ctr))	Classe de réaction au feu	μ
Béton de chanvre	350 à 600	0,07	1 600	20 pour R= 4,5 m ² .K/W	99 pour R= 4,5 m ² .K/W	46 (-2,-4)	B	5
Laine de chanvre	40	0,04	1 800	8,6 pour R= 7 m ² .K/W	79 pour R= 7 m ² .K/W	56 (-2,-7)	NC	1

Caractéristiques environnementales

Unité fonctionnelle (UF)	Eges (kg CO ₂ eq/UF)	Stockage carbone (kg CO ₂ eq/UF)	Contenu en biosourcé (kg de biosourcé/UF)
1 m ³ de béton de chanvre	123	150	100
1 m ² de laine de chanvre pour un R=2,5 m ² .K/W	NC	2,5 à 6,75	4,5

μ : coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

Indice d'affaiblissement acoustique aux bruits aériens Rw (C ; Ctr) exprimé en dB.

Il qualifie l'isolement d'un matériau ou d'un système constructif et représente la quantité de bruit arrêtée par le système. L'élément est d'autant plus isolant que Rw est grand.

Les termes C et Ctr représentent respectivement les bruits aériens intérieurs et les bruits aériens extérieurs.

Eges : émissions de gaz à effet de serre en équivalent CO₂, selon données fiches FDES publiées sur la base INIES.

Stockage Carbone - Coefficient : 1 kg de matière biosourcée a capté en moyenne 1,5 kg de CO₂ pour se constituer.

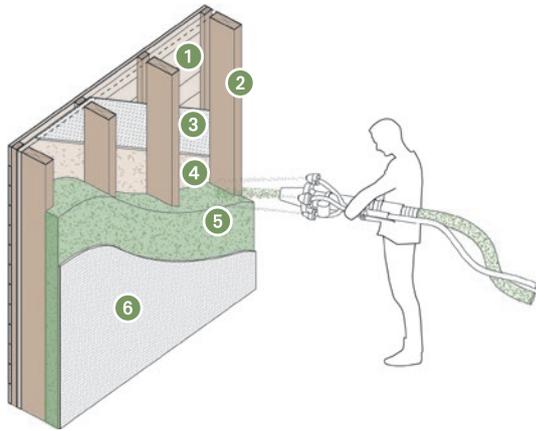
Aptitude à l'usage

Créée en 1998, l'association Construire en Chanvre sécurise la construction en chanvre grâce à 4 leviers :

- L'évolution du cadre réglementaire (Règles Professionnelles, FDES collective).
- Les formations des prescripteurs et artisans.
- Le label « Granulat chanvre pour le bâtiment » qui garantit la qualité de la matière première et la validation des couples liant/ chènevotte.
- La création d'ouvrages de référence (guides pédagogiques).

Cette association regroupe les industriels du chanvre, des liants, les professionnels du bâtiment (architectes, laboratoires, artisans, bureaux d'études) avec le soutien de la FFB, l'AQC et la Capeb. Son organisation nationale se décline en délégations régionales pour développer localement ce mode constructif et référencer les acteurs locaux.

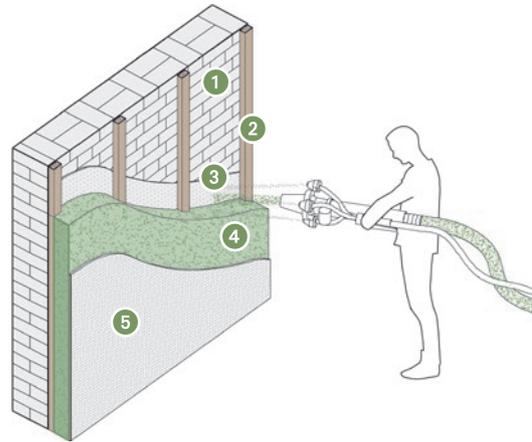
Domaines d'application



Projection béton de chanvre sur ossature

Un remplissage entre coffrage peut être effectué avec une machine à projeter. La projection se fera par couches régulières de bas en haut, en tenant la lance verticale orientée vers le bas. Ceci permet de combiner les intérêts de la projection mécanique et la finition lisse et précise du remplissage entre banches. Cependant, une bonne expérience est nécessaire pour obtenir un matériau homogène.

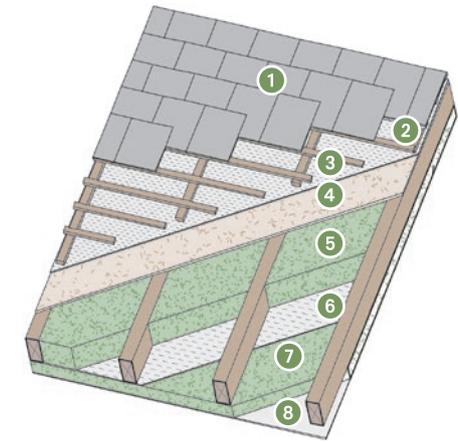
- 1 Bardage et lame d'air ventilée
- 2 Ossature bois
- 3 Membrane pare-pluie
- 4 Panneau contreventant
- 5 Liant-chanvre projeté ép. jusqu'à 30 cm
- 6 Enduit de finition perspirant type chaux-sable



Projection béton de chanvre sur mur existant

De nombreux types de supports neufs ou anciens peuvent recevoir un doublage en béton de chanvre. Le support doit être rigide et pouvoir absorber de l'eau, même faiblement. Seuls les supports contenant du plâtre sont proscrits. Supports anciens : tous murs en pierre, montés avec mortiers de terre ou sable et chaux, les murs en terre (pisé, bauge ou adobes), les murs en colombage avec tous types de remplissage.

- 1 Mur maçonné existant
- 2 Tasseaux bois pour une meilleure accroche et solidité du chaux-chanvre
- 3 Couche d'accroche
- 4 Liant-chanvre projeté ép. 5-20 cm
- 5 Enduit de finition perspirant type chaux-sable



Laine de chanvre en toiture

Les laines isolantes en chanvre se déclinent en rouleaux ou en panneaux, en vrac ou en lés en planchers, murs et cloisons.

- 1 Couverture
- 2 Double litonnage. Lame d'air ventilée
- 3 Écran de sous-toiture
- 4 Panneau contreventant type OSB
- 5 Panneaux de laine de chanvre posés entre chevrons
- 6 Membrane pare-vapeur
- 7 Complément d'isolation
- 8 Parement intérieur perspirant

La préfabrication

Des caissons préfabriqués en ossature bois remplie de béton de chanvre permettent de réaliser des murs manteaux. Une technique par voie sèche, qui réduit les délais et les temps de chantier, améliore la qualité de production et permet de s'affranchir des aléas climatiques. La préfabrication se développe pour répondre à la massification de la construction chanvre.

Emploi en rénovation

Le béton de chanvre convient parfaitement à la rénovation du bâti ancien, grâce à ses qualités de perspirance et de régulateur de l'hygrométrie ambiante. Il ne bloque pas l'humidité dans les murs et évite le phénomène de condensation dans la paroi.



2/ La ouate de cellulose

La ouate de cellulose est issue de la transformation du papier. Fabriquée principalement à partir de journaux, elle s'inscrit dans une démarche d'économie circulaire.

Utilisée depuis les années 1930 en Amérique du Nord en isolation des bâtiments, elle est majoritairement mise en œuvre aujourd'hui en France comme isolant vrac, et dans une moindre mesure, en panneaux d'isolation semi-rigides.

Disponible sur l'ensemble du territoire et bénéficiant depuis plusieurs années de cadres normatifs, elle trouve des débouchés en construction neuve ou en rénovation.

La filière ouate de cellulose

Ressource

La matière première utilisée pour produire de la ouate de cellulose est le papier ou le carton recyclé. Cette matière première est issue principalement des invendus de presse ou des chutes de production. Elle est broyée, ignifugée et défibrée pour aboutir à de la ouate de cellulose.

Production

Les usines des fabricants sont réparties sur l'ensemble de la France, elles s'approvisionnent en papier recyclé localement. La filière s'inscrit donc dans une logique, d'une part de filière locale avec une ressource à proximité des usines de transformation et, d'autre part, d'économie circulaire avec l'utilisation de matière première issue du recyclage. La ouate de cellulose est économiquement compétitive par rapport à l'isolation conventionnelle et éligible aux aides de l'État.

La ouate de cellulose représente aujourd'hui un marché d'environ 60 000 tonnes en France, soit plus de 5% du marché de l'isolation. Les principaux fabricants sont regroupés au sein d'un syndicat professionnel : l'ECIMA.



Crédit photo : Soprema

Panneaux souples de ouate de cellulose

De la ressource à la fin de vie : les atouts

1. Ressource

- À l'origine renouvelable.
- S'inscrit dans l'économie circulaire, issue du recyclage du papier.
- Disponible sur l'ensemble du territoire et collectée localement, impact des transports réduit.

2. Production

- Fabrication très peu énergivore (sans cuisson), ne consomme pas d'eau.
- Usines de production sur le territoire, au plus proche de la ressource.
- Capacité de production qui augmente fortement pour répondre à une demande croissante.

3. Conception

- Vrac à souffler (support horizontal), insuffler (support vertical ou incliné), projeter (support vertical fermé).
- Panneaux souples.
- Isolation pour murs, toitures, planchers.

4. Construction

- Mise en œuvre simple et rapide.
- Réseau de professionnels formés, artisans et constructeurs, sur l'ensemble du territoire.
- Techniques courantes.
- Technique traditionnelle pour l'isolation des combles perdus par soufflage.

5. Performance

- Double fonction permettant d'améliorer le confort d'hiver et le confort d'été, et par conséquent qui fonctionne toute l'année.
- Propriétés hygroscopiques permettant une régulation de l'hygrométrie de l'air.
- Résistance à l'écoulement de l'air et densité élevée : amélioration des performances acoustiques des parois.
- Performances garanties par des certifications (par exemple certification Acermi pour la thermique).

6. Cycle de vie

- Contenu en biosourcé élevé et garanti par le Label Produit Biosourcé.
- Stockage carbone : 1 m² d'isolation de combles = 11 kg de CO₂ stockés.
- Faibles émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie.

Produits et caractéristiques



Crédit photo : Soprema

Ouate de cellulose entre solives

La ouate de cellulose est un produit fibreux en vrac, utilisé en isolation des murs, des combles, des toitures et des cloisons.

Aptitude à l'usage

- Norme produit : NF EN 15101 « Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Isolation thermique formée en place à base de cellulose (LFCI) ».
- Concernant l'aptitude à l'usage pour l'isolation des combles perdus, la ouate de cellulose est une technique traditionnelle, elle relève du DTU 45.11 « Isolation thermique de combles par soufflage d'isolant en vrac » (laines minérales ou ouate de cellulose papier). La mise en œuvre de la ouate de cellulose en isolation de combles, de toiture ou de mur est considérée comme technique courante.
- Concernant l'aptitude à l'usage pour les autres applications, la ouate de cellulose relève du champ des avis techniques. La majorité des produits en dispose.
- Les caractéristiques thermiques des produits ouate de cellulose sont garanties par la certification ACERMI.
- Le contenu en biosourcé des ouates de cellulose est supérieur à 90% et pour une majorité de produits sur le marché.

Caractéristiques techniques

	Masse volumique (kg/m ³)	Conduct. thermique (W/m.K)	Capacité thermique (kJ/m ³ .K)	Déphasage (h) pour R=7 m ² .K/W	Confort d'été pour R=7 m ² .K/W Amortiss. (%)	Acoustique (Rw(C, Ctr))	Classe de réaction au feu	μ
Ouate de cellulose soufflage	23 à 35	0,039	2100	7,7	74	43 (-1,-8)	E	2
Ouate de cellulose insufflation	48 à 60	0,042	2100	7,2	70		E	2

Du point de vue thermique, la ouate de cellulose assure une double fonction : le confort thermique d'hiver (faible conductivité thermique) et le confort thermique d'été (déphasage et amortissement).

Caractéristiques environnementales

Unité fonctionnelle (UF) : 1 m ²	Eges (kg CO ₂ eq/UF)	Stockage carbone (kg CO ₂ eq/UF)	Contenu en biosourcé (kg de biosourcé/UF)
Ouate de cellulose soufflée pour R=7 m ² .K/W	- 3,14 à 1,73	10,8	7,2
Ouate de cellulose soufflée pour R=3,5 m ² .K/W	- 2,84 à 1,38	9,8	6,52

μ : coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

Indice d'affaiblissement acoustique aux bruits aériens Rw (C ; Ctr) exprimé en dB.

Il qualifie l'isolement d'un matériau ou d'un système constructif et représente la quantité de bruit arrêtée par le système. L'élément est d'autant plus isolant que Rw est grand.

Les termes C et Ctr représentent respectivement les bruits aériens intérieurs et les bruits aériens extérieurs.

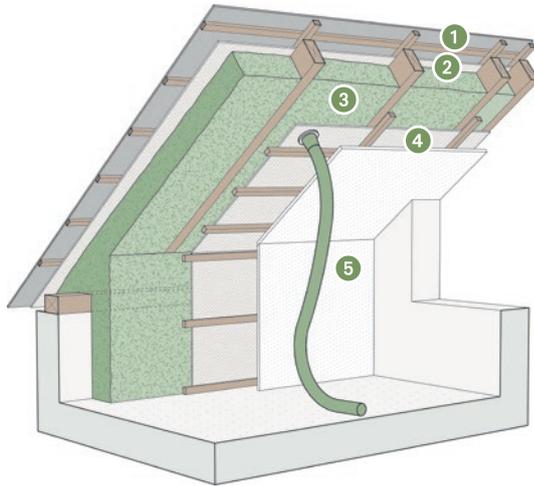
Eges : émissions de gaz à effet de serre en équivalent CO₂, selon données fiches FDES publiées sur la base INIES.

Stockage Carbone - Coefficient : 1 kg de matière biosourcée a capté en moyenne 1,5 kg de CO₂ pour se constituer.

Avec l'utilisation de matières premières transformées localement, des process de fabrication peu émetteurs de gaz à effet de serre et peu consommateurs d'énergie et un stockage carbone durant toute la durée de vie du bâtiment, la ouate de cellulose présente de très bonnes performances environnementales tout au long de son cycle de vie.

Domaines d'application

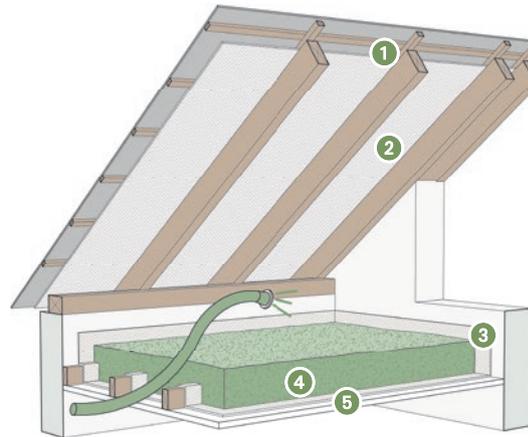
La mise en œuvre des produits ouate de cellulose est simple, elle est réalisée par soufflage, insufflation ou encore projection humide. Ces techniques permettent de remplir tous les vides de construction et interstices, limitant ainsi les ponts thermiques.



Ouate de cellulose insufflée entre rampants

La ouate de cellulose est insufflée, à l'aide d'une cardeuse-souffleuse dédiée, dans une cavité fermée (horizontale, verticale ou inclinée). La densité est comprise entre 45 et 75 kg/m³.

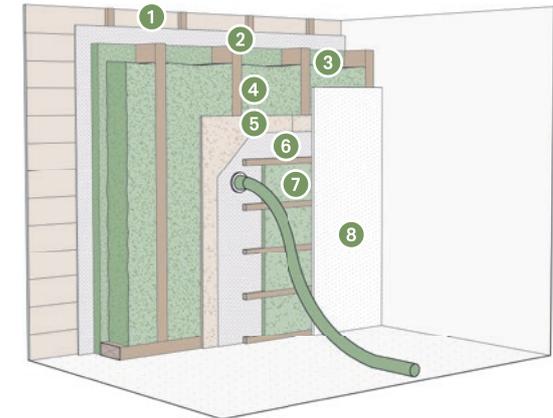
- 1 Double litonnage avec sous-toiture ventilée
- 2 Écran de sous-toiture
- 3 Ouate de cellulose insufflée entre chevrons
- 4 Membrane pare-vapeur
- 5 Parement intérieur



Ouate de cellulose soufflée en combles perdus

La ouate de cellulose est soufflée, à l'aide de la même machine, sur un support horizontal. Densité : 30 kg/m³.

- 1 Double litonnage avec sous-toiture ventilée
- 2 Écran de sous-toiture
- 3 Membrane pare-vapeur
- 4 Ouate de cellulose projetée sur plancher - Combles perdus
- 5 Panneaux rigides



Ouate de cellulose insufflée en parois verticales

La ouate de cellulose est mise en œuvre soit par insufflation, dans une cavité fermée (comme en rampants), soit par projection humide sur les supports à isoler (doublage ossature bois, cloisons).

- 1 Bardage et lame d'air ventilée
- 2 Membrane pare-pluie
- 3 ITE type fibre de bois rigide
- 4 Ouate de cellulose insufflée entre montants d'ossature
- 5 Panneau contreventant
- 6 Membrane pare-vapeur
- 7 Complément d'isolation
- 8 Parement intérieur



3/ La paille

La paille (tige de céréale) provient directement d'une culture agricole (blé, orge, lavande...). Elle est conditionnée sous forme de bottes - soit dans le champ, soit dans un atelier de bottelage - puis acheminée sur le chantier ou dans les ateliers du constructeur. Elle ne subit aucune transformation jusqu'au bâtiment.

Dans la construction en paille, ce sont majoritairement des petites bottes qui sont utilisées. L'épaisseur des bottes est constante pour une presse agricole donnée (souvent 36 cm et de plus en plus de 22 cm). La longueur peut varier entre 55 cm et 120 cm et la densité doit être comprise entre 80 et 120 kg/m³ pour pouvoir utiliser la botte de paille comme matériau de construction.

La filière paille

La paille est la tige d'une céréale sans épi ni grain. Dans la construction, c'est la paille de blé qui est majoritairement utilisée. Il existe d'autres types de paille qui sont également employés : triticale, orge, seigle, avoine, lavande.

Ressource

Matériau largement disponible, la paille est un isolant qui ne réclame aucune transformation. Une de ses forces est sa grande disponibilité en circuit court, partout sur le territoire : 90% des approvisionnements sont réalisés dans un rayon de 50 km (étude Terracrea). La botte de paille est aussi un isolant durable : la «Maison Feuillette», construite en 1920 à Montargis (45) est encore là pour prouver cette pérennité.

Production

La construction paille est pertinente pour l'isolation de bâtiments de toutes tailles et accueillant différents programmes, privés ou publics. De la maison individuelle à l'immeuble de plusieurs niveaux, des locaux industriels aux bureaux et groupes scolaires, la paille est un matériau performant.

Le Réseau Français de la Construction Paille (RFCP) estime à plus de 10 000 le nombre de logements et bâtiments isolés en bottes de paille en France. Entre 500 et 1 000 nouvelles constructions sont mises en œuvre chaque année. La filière française est la plus dynamique en Europe.



Crédit photo : Freepik

Au 1^{er} janvier 2022, 10 000 règles professionnelles vendues, 3400 professionnels formés «Pro-Paille» et 10 000 bâtiments estimés.

Les travaux en cours portent sur le développement de l'isolation thermique par l'extérieur et de la botte de paille comme élément structurel.

De la ressource à la fin de vie : les atouts

1. Ressource

- Renouvelable. Co-produit agricole.
- Pas de concurrence alimentaire.
- 5 M^ot sont disponibles tous les ans.
- 3 M^ot/an seraient suffisants pour isoler en paille la totalité des bâtiments construits.

2. Production

- Aucune transformation du champ au bâtiment.
- Bottelage destiné spécifiquement à la construction.
- 40% de la production française de paille reste sur les parcelles.

3. Conception

- Paille en remplissage.
- Caisson préfabriqué en atelier.
- Isolation thermique par l'extérieur.
- Paille structurelle.
- Isolation de toiture.

4. Construction

- Mise en œuvre simple, rapide si préfabrication.
- Réseau de professionnels formés sur l'ensemble du territoire.
- Durable et déjà éprouvé.

5. Performance

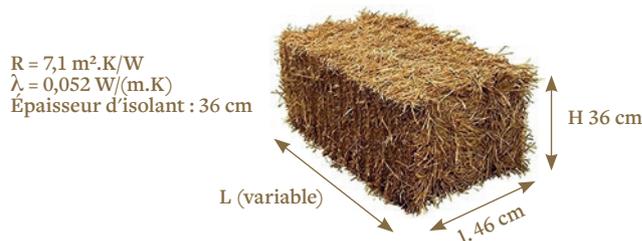
- Confort toute saison.
- Confort phonique.
- Comportement au feu.
- Perméabilité et hygrosocopie.
- Durabilité.

6. Cycle de vie

- Contenu en biosourcé 100%.
- 100 kg de carbone stockés par m³ de paille.
- Faibles émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie.

Produits et caractéristiques

Le Réseau Français de la Construction Paille est l'auteur des Règles Professionnelles de Construction en paille. Dans ces règles il est précisé qu'il est possible d'utiliser la botte de paille directement issue du monde agricole pour isoler les bâtiments. Ainsi, et c'est un cas unique dans le secteur de l'isolation, la botte de paille n'est pas un matériau de construction (TVA agricole) et il revient au metteur en œuvre d'attester de la qualité de la botte pour son usage en tant qu'isolant. Le format le plus courant est celui des « petites bottes » de dimensions 36x46 cm avec des longueurs allant généralement de 55 à 120 cm.



Attentes des constructeurs en termes de qualité :

- Constance du taux d'humidité relative < 20%.
- Contrôle des dimensions et de l'aspect : faces planes et régulières.
- Maîtrise de la densité : masse volumique de 80 à 120 kg/m³.

Protection et finitions

Les bâtiments isolés en paille peuvent recevoir tout type de parement. La paille est recouverte des deux côtés par un élément en contact direct avec elle, perspirant et assurant la protection au feu réglementaire de la typologie de bâtiment concernée. Cela peut être un enduit (argile, chaux) faisant également office de finition, d'étanchéité à l'air et jouant un rôle important dans le confort hygrothermique ; ou des panneaux (minéraux, dérivés du bois) pouvant également avoir la fonction de contreventement. Pour ces derniers, il est souvent aménagé un vide technique côté intérieur et une lame d'air ventilée côté extérieur. Le parement final étant généralement des plaques minérales ou un lambris à l'intérieur et un bardage à l'extérieur (bois, métal, terre cuite...).

Caractéristiques techniques

La construction en paille est une démonstration de la possibilité de faire cohabiter **excellence performancielle, durabilité, proximité, savoir-faire, confort et écologie**. Elle illustre l'intérêt d'un matériau brut associé à une mise en œuvre soignée, basée sur des savoir-faire, qui garantissent d'excellentes caractéristiques :

Masse volumique (kg/m ³)	Conduct. thermique (W/m.K)	Capacité thermique (kJ/m ³ .K)	Déphasage (h) pour R=7 m ² .K/W	Confort d'été pour R=7 m ² .K/W Amortiss. (%)	Acoustique (Rw(C,Ctr))	Classe de réaction au feu	μ
80 à 120	0,052	1 558	14	95	nc	F	2

Caractéristiques environnementales

La botte de paille est un matériau biosourcé dont l'impact sur l'environnement est très faible, durant l'ensemble de son cycle de vie. Ceci est attesté par une fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) :

Unité fonctionnelle (UF) : 1 m ²	Eges (kg CO ₂ eq/UF)	Stockage carbone (kg CO ₂ eq/UF)	Contenu en biosourcé (kg de biosourcé/UF)
Pour R=7 m ² .K/W	- 9,63	53,4	35,6

μ : coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

Indice d'affaiblissement acoustique aux bruits aériens Rw (C ; Ctr) exprimé en dB.

Il qualifie l'isolement d'un matériau ou d'un système constructif et représente la quantité de bruit arrêtée par le système. L'élément est d'autant plus isolant que Rw est grand.

Les termes C et Ctr représentent respectivement les bruits aériens intérieurs et les bruits aériens extérieurs.

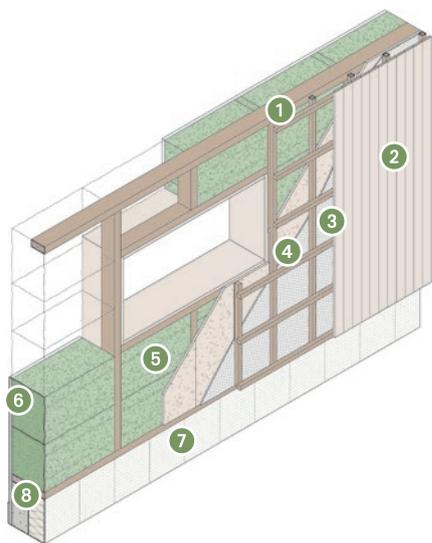
Eges : émissions de gaz à effet de serre en équivalent CO₂, selon données fiches FDES publiées sur la base INIES.

Stockage Carbone - Coefficient : 1 kg de matière biosourcée a capté en moyenne 1,5 kg de CO₂ pour se constituer.

Aptitude à l'usage

- Le metteur en œuvre a la responsabilité de vérifier la conformité des bottes (forme, dimensions, humidité et masse volumique). La procédure de contrôle est décrite dans les Règles Pro CP2012.
- Le fournisseur s'engage moralement à fournir un approvisionnement de qualité au client. La paille n'est pas un matériau de construction et la maîtrise d'œuvre ne peut s'engager à attester de son emploi dans le bâtiment.
- Démarche qualité : mesure de l'humidité, calcul de la densité, stockage... Toutes les informations et le protocole de validation des bottes sont dans les Règles Pro CP2012 disponibles dans la librairie du RFGP.

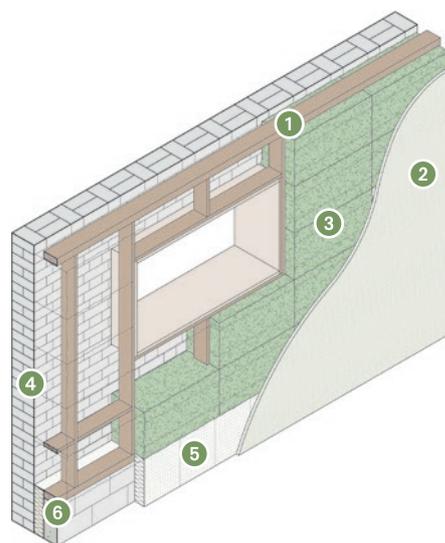
Domaines d'application



Isolation paille - Ossature bois

Cette technique est la plus répandue, elle consiste à remplir une ossature bois avec des bottes de paille. Les variantes sont nombreuses : l'ossature peut être en bois massif ou reconstitué, en poutre en I, prendre toute l'épaisseur du mur ou être moins large. **Technique courante couverte par les Règles Pro CP2012.**

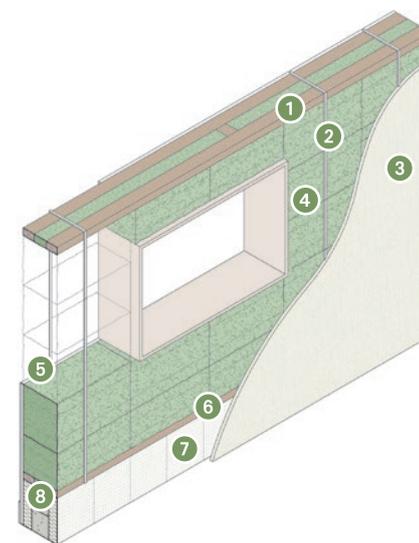
① Ossature bois ② Bardage et lame d'air ventilée
③ Membrane pare-pluie ④ Panneau contreventant type OSB ⑤ Bottes de paille non structurales posées entre montants d'ossature. Dim. standard 37x47x90 cm ⑥ Parement intérieur ⑦ ITE imputrescible type liège ⑧ Soubassement maçonné. Garde au sol min. 40 cm



Isolation paille par l'extérieur sur existant

L'isolation thermique par l'extérieur permet d'isoler, a posteriori, un bâtiment déjà construit. Les bottes de paille sont fixées au mur existant ou sont insérées dans une ossature secondaire, elle-même fixée au mur existant. **Technique non courante, travaux de normalisation en cours.**

① Ossature bois ② Enduit (terre ou chaux-sable)
③ Bottes de paille non structurales posées entre montants d'ossature. Dim. standard 37x47x90 cm ④ Bâtiment existant ⑤ ITE imputrescible type liège ⑥ Soubassement maçonné. Garde au sol min. 40 cm



Paille porteuse

Les bottes de pailles ont ici un rôle structurel en plus d'être un isolant thermique. Elles sont surcomprimées sur site, entre une lisse basse et une lisse haute fortement rigide. Il n'y a pas d'ossature bois porteuse, ce sont les bottes de paille qui portent plancher et charpente. **Technique non courante, travaux de normalisation en cours.**

① Lisse haute ② Sangles sous tension ③ Enduit perspirant (terre ou chaux-sable) ④ Bottes de paille structurales compressées par des sangles tendues entre lisses haute et basse. Mise en œuvre : la compression se fait graduellement jusqu'à stabilisation complète. Dim. standard 37x47x90 cm ⑤ Parement intérieur ⑥ Lisse basse ⑦ ITE imputrescible type liège ⑧ Soubassement maçonné. Garde au sol min. 20 cm

Autres formes / Autres emplois

Caissons préfabriqués isolés et équipés : technique la plus répandue en termes de surface bâtie. Le bâtiment peut être levé très rapidement, quelques jours pour une habitation, quelques semaines pour les grands bâtiments : ces caissons sont porteurs ou viennent combler des structures bois, métal ou béton.

Isolation de toiture : les principales techniques sont modélisées.

Histoire du matériau

1886 > Premiers bâtiments en paille aux États-Unis (Nebraska).
1920 > 1^{ère} maison d'Europe : la « Maison Feuillette » à Montargis (45).
1970-2000 > Redécouverte par certains paysans et écologistes.
2005 > Début de la mise en réseau des praticiens.
2006-2011 > Rédaction des règles de l'art par le RFCP.
2011 > Règles professionnelles acceptées par la C2P
2018 > 3^{ème} version des règles professionnelles.



4/ La fibre de bois

Les isolants en fibres de bois font partie de la famille des isolants biosourcés industriels. Ce sont des isolants fibreux obtenus à partir de fibres de bois issues des produits « connexes » de la transformation du bois. Produits par des unités industrielles, ils sont fabriqués en France. Ils se présentent sous forme de panneaux rigides ou semi-rigides et sont utilisés dans de nombreux domaines d'application dans le bâtiment : en isolation thermique par l'intérieur (ITI) des murs, cloisons, planchers et toitures, en isolation des murs ossature bois, en isolation par l'extérieur (ITE), en pare-pluie ou encore en écran de sous-toiture. La majorité de ces produits sont labellisés « produit biosourcé + », garantissant ainsi un contenu en biosourcé de 90 %. Ils représentent plus de 25 % du marché des isolants biosourcés et sont en forte croissance (+138 % depuis 2015).

La filière fibre de bois

Ressource

Les ressources utilisées pour produire des isolants en fibres de bois sont les produits connexes provenant de la première transformation du bois. Ces co-produits de scieries sont issus de bois résineux provenant de différents massifs forestiers français : Vosges, Landes, Auvergne Rhône-Alpes... Et principalement de forêts gérées durablement.

Co-produit de l'industrie du bois, la ressource utilisée pour fabriquer des isolants en fibres de bois n'est pas une ressource dédiée.

Production

Avec l'augmentation de l'utilisation du bois, notamment dans le bâtiment, le gisement disponible est en croissance.

La matière première se présente sous forme de plaquettes à la sortie des process de première transformation. Ces plaquettes sont, dans un premier temps, défibrées afin d'obtenir des fibres de quelques millimètres. Si les process de fabrication des panneaux semi-rigides et rigides diffèrent, globalement, ils consistent à mélanger les fibres de bois avec un liant et les compresser (ou les mettre en forme) pour former des panneaux de différentes densités.

Les principaux fabricants sont regroupés au sein d'un syndicat professionnel : l'AICB.

Les usines de fabrication sont réparties sur le territoire français et s'approvisionnent généralement en ressources bois de proximité, c'est-à-dire auprès de scieries locales autour du site de production.

En savoir plus :

<https://www.batiment-biosource.fr>

<http://produitbiosource.eu>

De la ressource à la fin de vie : les atouts

1. Ressource

- Ressource forestière française en croissance et gérée durablement (certification PEFC, FSC).
- Co-produit de la première transformation du bois (déchets de la première transformation), cette ressource s'inscrit dans une logique de valorisation globale et pérenne de la ressource en bois.
- Ressource qui n'entre pas en concurrence avec l'alimentaire.

2. Production

- Process de fabrication (défibrage et mise en forme) nécessitant peu d'énergie.
- Production en circuit court.
- Capacité de production en France doublée pour répondre à la demande croissante.

3. Conception

- Produits disposant d'une norme européenne depuis plusieurs années.
- Performances garanties par des certifications et des labels (par exemple certification Acermi pour la thermique, label produit biosourcé).
- Nombreux usages : isolants, pare-pluie, écran de sous-toiture.

4. Construction

- Mise en œuvre qui change peu les méthodes des artisans et des constructeurs et donc facilement déployable à grande échelle.
- Techniques constructives considérées comme techniques courantes (avis techniques couvrant la mise en œuvre dans différentes applications : isolation des murs, toitures, planchers, ossatures bois...).
- Produits entrant progressivement dans le champ des techniques traditionnelles.
- Éligibles aux aides de l'état.

5. Performance

- Confort toute saison.
- Plages de densité très large (de 40 à plus de 100 kg/m³).
- Propriétés hygroscopiques pour une régulation de l'hygrométrie de l'air.

6. Cycle de vie

- Contenu en biosourcé élevé (> 90%).
- 1 m² isolants en fibres de bois (ITE) = 18 kg de CO₂.
- Peu d'émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie.

Produits et caractéristiques



Crédit photo : Buitex/Isomat

Panneaux de fibre de bois

Les isolants en fibres de bois se présentent sous forme de panneaux semi-rigides ou rigides. Ils sont utilisés en isolation des murs, des combles, des toitures, des planchers et des cloisons ou encore en tant que pare-pluie ou écran de sous-toiture.

Aptitude à l'usage

- Les isolants en fibres de bois disposent d'une norme produit : NF EN 13171 « Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en fibres de bois (WF) ».
- Les isolants en fibres de bois relèvent des procédures d'Atex ou d'avis technique dont dispose la majorité des produits actuellement sur le marché.
- La mise en œuvre des isolants en fibres de bois en isolation de combles, de toiture ou de mur (isolation par l'intérieur et isolation par l'extérieur) est une technique courante.
- Les isolants en fibres de bois rigides en fonction pare-pluie sont traditionnels au sens du DTU 31.2 pour des épaisseurs de 15 mm à 35 mm. Pour les autres utilisations, des travaux sont en cours pour les intégrer dans différents DTU.
- Les caractéristiques thermiques des isolants en fibres de bois sont certifiées par la certification ACERMI.
- Le contenu en biosourcé des isolants en fibres de bois est supérieur à 80% et pour une majorité de produits sur le marché.

Caractéristiques techniques

	Masse volumique (kg/m ³)	Conduct. thermique (W/m.K)	Capacité thermique (kJ/m ³ .K)	Déphasage (h) pour R=7 m ² .K/W	Confort d'été pour R=7 m ² .K/W Amortiss. (%)	Acoustique (Rw(C, Ctr))	Classe de réaction au feu	μ
Isolants fibres de bois	40 à 200	0.036 à 0.044	2100	10,17	86	60 (-4, -12)	E	1 à 3

Du point de vue thermique, les isolants en fibres de bois assurent donc une double fonction : à la fois une fonction de confort thermique d'hiver (faible conductivité thermique) et une fonction de confort thermique d'été (déphasage et amortissement des flux de calories).

Caractéristiques environnementales

Les isolants en fibres de bois présentent des performances environnementales intéressantes sur l'ensemble du cycle de vie (émissions de gaz à effet de serre et stockage carbone). Ils répondent ainsi aux enjeux et objectifs de la réglementation environnementale RE2020.

Unité fonctionnelle (UF) : 1 m ²	Eges (kg CO ₂ eq/UF)	Stockage carbone (kg CO ₂ eq/UF)	Contenu en biosourcé (kg de biosourcé/UF)
1 m² d'isolants semi-rigides fibres de bois R=3,80 m²K/W	1,36	7,4	4,93
1 m² d'isolants rigides fibres de bois R=3,05 m²K/W	- 8,79	18,63	12,42

μ : coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

Indice d'affaiblissement acoustique aux bruits aériens Rw (C ; Ctr) exprimé en dB.

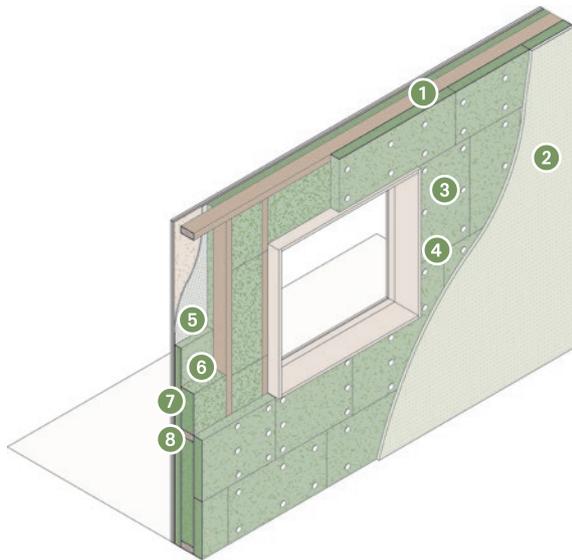
Il qualifie l'isolement d'un matériau ou d'un système constructif et représente la quantité de bruit arrêtée par le système. L'élément est d'autant plus isolant que Rw est grand.

Les termes C et Ctr représentent respectivement les bruits aériens intérieurs et les bruits aériens extérieurs.

Eges : émissions de gaz à effet de serre en équivalent CO₂, selon données fiches FDES publiées sur la base INIES.

Stockage Carbone - Coefficient : 1 kg de matière biosourcée a capté en moyenne 1,5 kg de CO₂ pour se constituer.

Domaines d'application



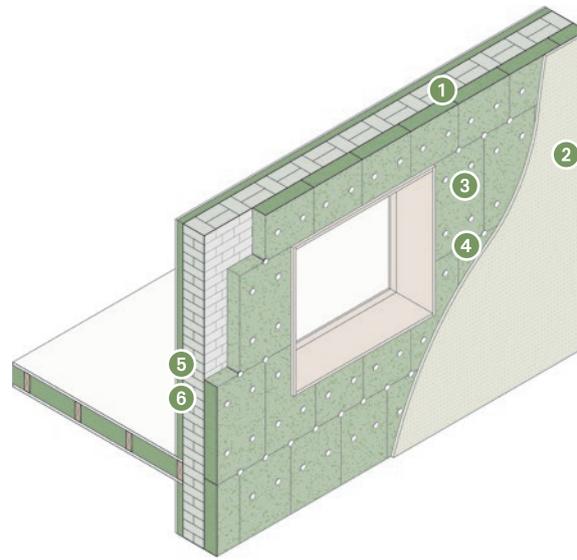
Fibre semi-rigide en remplissage d'ossature et ITE en fibres de bois rigide

L'isolant en fibres de bois semi-rigide est posé entre montants d'ossature bois, puis l'isolant rigide est fixé sur l'ossature bois constituant le mur. Il assure les fonctions d'isolation.

- 1 Ossature bois
- 2 Enduit appliqué sur la fibre de bois semi-rigide
- 3 Fibre de bois rigide fixée en ITE sur l'ossature bois ép. 10-20 cm
- 4 Collettertes de fixation vissées dans l'ossature bois
- 5 Membrane pare-vapeur
- 6 Complément d'isolation
- 7 Panneau contreventant (type OSB)
- 8 Parement intérieur

Support ETICS

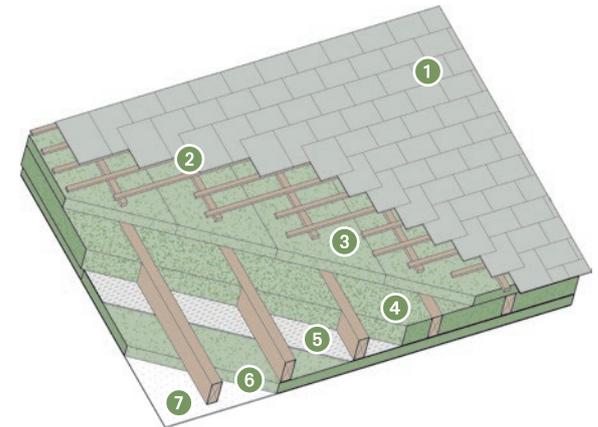
Un panneau, support d'ETICS, devra être posé entre la fibre de bois ITE et l'ossature pour être conforme aux avis techniques.



ITE en fibres de bois rigide sur support maçonné

L'isolant en fibres de bois rigide est vissé sur le support maçonné constituant le mur et est ensuite recouvert d'un enduit assurant une fonction de protection et une fonction esthétique.

- 1 Bâtiment existant
- 2 Enduit appliqué sur la fibre de bois semi-rigide
- 3 Fibre de bois rigide posée en ITE sur l'existant ép. 10-20 cm
- 4 Collettertes de fixation vissées dans la maçonnerie
- 5 Complément d'isolation
- 6 Parement intérieur



Isolation de toiture en fibres de bois

L'isolant semi-rigide est posé entre chevrons et en sous-face. L'isolant rigide est fixé sur les chevrons et assure la fonction pare-pluie.

- 1 Couverture
- 2 Double litonnage. Sous-toiture ventilée
- 3 Fibre de bois rigide déperlante qui endosse la fonction d'écran de sous-toiture
- 4 Fibre en panneaux semi-rigides posés entre chevrons
- 5 Membrane pare-vapeur
- 6 Complément d'isolation
- 7 Parement intérieur

Autres applications possibles

- L'isolation des murs par l'intérieur et des cloisons : l'isolant est mis en place derrière une contre-cloison et/ou entre les montants supports de la cloison ou de la contre-cloison.
- L'isolation des combles perdus : les panneaux d'isolant sont mis en place sur plancher existant ou sur solives et entre solives de plancher de comble.
- L'isolation des planchers : les panneaux d'isolants sont positionnés en sous-face de dalle ou entre les solives du plancher.



5/ Les fibres végétales

Les isolants manufacturés à base de fibres végétales agricoles font partie de la famille des isolants biosourcés industriels. Ce sont des isolants fibreux obtenus à partir de fibres végétales (chanvre, lin, coton, paille de riz, herbe de prairie...) issues de l'agriculture. Produits par des unités industrielles, ils sont fabriqués en France. Ils se présentent sous forme de panneaux semi-rigides ou de rouleaux. Ils sont utilisés en Isolation Thermique par l'Intérieur (ITI) des murs, cloisons, planchers, et toiture et en isolation des murs ossature bois.

Coton recyclé en vrac et panneau, panneau de chanvre, fibre de bois, panneau mixte lin, chanvre, coton (Crédit photo : Karibati)

Les fibres végétales

Ressource

Les ressources utilisées pour produire des isolants manufacturés à base de fibres végétales agricoles sont le chanvre, le lin, le coton, la balle de riz, l'herbe de prairie, ou encore la bagasse de canne à sucre. La majorité de ces ressources est issue de l'agriculture. Ce sont les tiges de ces différentes plantes, dont on extrait mécaniquement la partie fibreuse, qui sont utilisées. Le coton fait exception. En effet, il s'agit de coton issu de textiles (vêtements tels que les jeans) recyclés.

Ces ressources sont généralement des co-produits agricoles, ne sont pas issues de récoltes dédiées et n'entrent pas en concurrence avec les cultures de production alimentaire. Pour certaines, comme la paille de riz, il s'agit même de ressources qui n'ont pas d'autres débouchés et qui étaient considérées comme un déchet (difficile à valoriser). Compte tenu de leur diversité, leur disponibilité est importante sur le territoire. Elles sont en général transformées localement. Elles comptent entre 150 000 et 200 000 Ha de cultures en France, représentant environ 100 000 t de matière première disponible. Une petite partie (<10%) est aujourd'hui valorisée dans le bâtiment.

Production

Les différentes fibres végétales agricoles sont assemblées par thermoliage et les produits obtenus à l'aide de process industriels sont des panneaux semi-rigides ou des rouleaux.

Les usines de fabrication sont réparties sur le territoire français et s'approvisionnent généralement en ressources biosourcées (fibres) de proximité, issues de cultures locales autour du site de production.

Les principaux fabricants sont regroupés au sein d'un syndicat professionnel : l'AICB.

De la ressource à la fin de vie : les atouts

1. Ressource

- Large diversité de ressources disponibles sur l'ensemble du territoire avec une mixité dans la fabrication des produits.
- Certaines s'inscrivent dans l'économie circulaire et sont issues du coton recyclé.
- Co-produits de l'agriculture sans concurrence avec l'alimentaire.

2. Production

- Process de fabrication (première et deuxième transformation) qui nécessite peu d'énergie (pas de cuisson à très haute température).
- Usines de production sur le territoire, au plus proche de la ressource.
- Capacité de production française qui augmente fortement pour répondre à une demande croissante.

3. Conception

- Ne remettent pas en cause les habitudes des maîtres d'œuvre dans la conception de leurs ouvrages.
- Éligibles aux aides de l'état.
- Performances garanties par des certifications (par exemple certification Acermi pour la thermique).

4. Construction

- Mises en œuvre qui changent peu les méthodes des artisans et des constructeurs et donc facilement déployables à grande échelle.
- Confort de pose remarquable.
- Techniques constructives considérées comme techniques courantes (avis techniques couvrant la mise en œuvre dans différentes applications : isolation des murs, toitures, planchers et ossatures bois...).

5. Performance

- Double fonction : améliorent le confort l'hiver et l'été, donc toute l'année.
- Propriétés hygroscopiques : régulation de l'hygrométrie de l'air.
- Dans certaines configurations, améliorent le confort acoustique quand elles sont intégrées dans des systèmes constructifs conventionnels.

6. Cycle de vie

- Contenus en biosourcé élevé (> 80%).
- Carbone stocké (1 m² d'isolant pour mur stocke jusqu'à 6 kg de carbone).
- Peu d'émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble de leur cycle de vie.

Produits et caractéristiques

Crédits photos : Interchanvre - Freepik



Les isolants manufacturés à base de fibres végétales agricoles se présentent sous forme d'isolation semi-rigide ou sous forme de rouleaux. Ils sont utilisés en isolation des murs, des combles, des toitures, des planchers et des cloisons.

Aptitude à l'usage

- Les isolants manufacturés à base de fibres végétales agricoles ne disposent pas de norme produit. Un projet est toutefois en cours.
- Concernant l'aptitude à l'usage, les isolants manufacturés à base de fibres végétales agricoles relèvent des procédures d'Atex ou d'avis technique dont dispose la majorité des produits actuellement sur le marché.
- La mise en œuvre des isolants manufacturés à base de fibres végétales agricoles en isolation de combles, de toitures ou de murs est considérée comme technique courante.
- Les caractéristiques thermiques des isolants manufacturés à base de fibres végétales agricoles sont certifiées par la certification ACERMI.
- Le contenu en biosourcé des isolants manufacturés à base de fibres végétales agricoles est supérieur à 70% et pour une majorité de produits sur le marché.

Caractéristiques techniques

Du point de vue thermique, les isolants à base de fibres végétales assurent une double fonction : à la fois une fonction de confort thermique d'hiver (faible conductivité thermique) et une fonction de confort thermique d'été (déphasage et amortissement).

	Masse volumique (kg/m ³)	Conduct. thermique (W/m.K)	Capacité thermique (kJ/m ³ .K)	Déphasage (h) pour R=7 m ² .K/W	Confort d'été pour R=7 m ² .K/W Amort. (%)	Acoustique (Rw(C, Ctr))	Classe de réaction au feu	μ
Isolants fibres végétales	20 à 50	0,036 à 0,042	1 600	7,3 (pour un R=7 m ² K/W)	70 (pour un R=7 m ² K/W)	52 (-4, -12)	E à NC	1 à 2

Caractéristiques environnementales

Les isolants végétaux présentent des performances environnementales intéressantes sur l'ensemble du cycle de vie (émissions de gaz à effet de serre et stockage carbone). Ils répondent ainsi aux enjeux et objectifs de la réglementation environnementale RE2020.

Unité fonctionnelle (UF) : 1 m ²	Eges (kg CO ₂ eq/UF)	Stockage carbone (kg CO ₂ eq/UF)	Contenu en biosourcé (kg de biosourcé/UF)
1 m² d'isolants manufacturés à base de fibres végétales agricoles R=2,55 m²K/W	0,9 à 1,82	2,5 à 6,75	4,5

μ : coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

Indice d'affaiblissement acoustique aux bruits aériens Rw (C ; Ctr) exprimé en dB.

Il qualifie l'isolement d'un matériau ou d'un système constructif et représente la quantité de bruit arrêtée par le système. L'élément est d'autant plus isolant que Rw est grand.

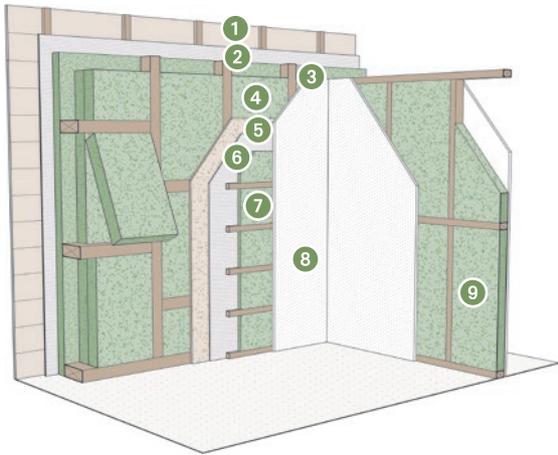
Les termes C et Ctr représentent respectivement les bruits aériens intérieurs et les bruits aériens extérieurs.

Eges : émissions de gaz à effet de serre en équivalent CO₂, selon données fiches FDES publiées sur la base INIES.

Stockage Carbone - Coefficient : 1 kg de matière biosourcée a capté en moyenne 1,5 kg de CO₂ pour se constituer.

Domaines d'application

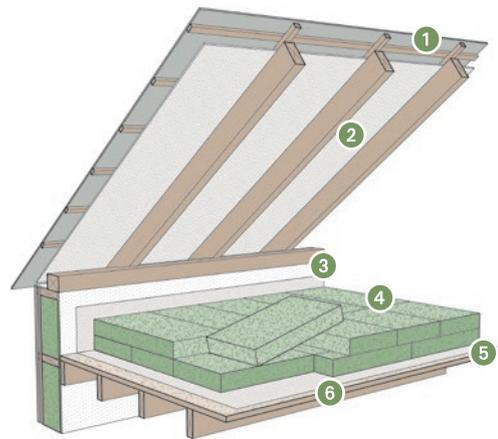
Les isolants manufacturés à base de fibres agricoles végétales sont utilisés en construction neuve ou en rénovation. La mise en œuvre des isolants est simple. Elle consiste à insérer les panneaux d'isolation semi-rigides derrière une ossature (doublage) ou entre éléments d'ossature.



Isolation d'ossature bois en panneaux de fibres végétales

Dans ce cas l'isolant est mis en place derrière une contre-cloison et/ou entre les montants supports de la cloison ou de la contre-cloison.

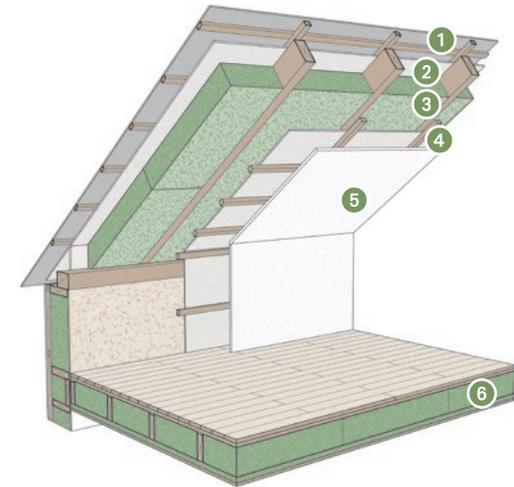
① Bardage et lame d'air ventilée ② Membrane pare-pluie ③ ITE type fibre de bois rigide ④ Fibre végétale semi-rigide entre montants d'ossature ⑤ Panneau contreventant perspirant ⑥ Membrane pare-vapeur ⑦ Complément d'isolation ⑧ Parement intérieur perspirant ⑨ Fibres en panneaux souples posés entre montants de cloisons pour assurer l'isolation phonique



Isolation en combles perdus

Dans ce cas l'isolant est mis en place entre les montants d'ossature bois.

① Double litonnage. Sous-toiture ventilée ② Écran de sous-toiture ③ Parement intérieur ④ Fibres en panneaux souples posés à plat. Combles perdus ⑤ Membrane pare-vapeur ⑥ Panneaux rigides



Isolation sous rampants

Dans ce cas l'isolant est mis en œuvre entre chevrons ou fermettes en une ou plusieurs couches.

① Double litonnage. Sous-toiture ventilée ② Écran de sous-toiture ③ Fibres en panneaux souples posés entre chevrons, idéalement entre chevrons et sous chevrons pour avoir 2 couches et éviter les ponts thermiques ④ Fibres végétales semi-rigides posées entre chevrons ⑤ Parement intérieur ⑥ Fibres en panneaux souples posés entre solives pour l'isolation phonique



Panneaux ossature bois/béton de chanvre
préfabriqués en atelier pour constituer les murs
extérieurs d'un immeuble collectif
(Crédit photo : Wall' Up Préfa)

Retours d'expé- riences





- Structure béton existante
- Murs à ossature bois
- Isolation en fibre de bois
- Cloisons, panneaux d'agencement, menuiseries et mobilier en bois

« La métamorphose est issue d'une attention à ce qui est déjà là, avec des principes durables et raisonnés clairement énoncés : conserver au maximum, privilégier le bois et les matériaux biosourcés pour les aménagements, et chercher l'économie de matière tout en permettant l'évolution. »

Antoine Béal & Ludovic Blanckaert
Architectes > Béal & Blanckaert
Architectes Urbanistes

-
- **Maîtres d'ouvrage** : SMart et initiativesETeité
 - **Architecte** : Béal & Blanckaert Architectes Urbanistes
 - **Localisation** : 292 rue Camille Guérin, 59800 LILLE
 - **Livraison** : 2020
 - **Surface** : 5 050 m² SDP
 - **Coût des travaux** : 8,99 M€ HT (1780€/ m²)
dont 350 000 € de mobilier et aménagements
 - **BET** : BETC
 - **Entreprises clos couvert** : Rabot Dutilleul (gros œuvre), Soprema (étanchéité et isolation toiture), LBS (désamiantage), Edwood (charpente bois, isolation intérieure et cloisonnements), Billiet (menuiseries extérieures), Verrières du Nord (verrières)

Bazaar St So

La réhabilitation créative d'une ancienne gare ferroviaire

01

> Un projet couronné du Prix National de la Construction Bois 2021, catégorie Aménager

La transformation de l'ancienne halle B de la gare Saint-Sauveur à Lille en un lieu dédié à l'économie créative est une réussite tant sur le plan architectural qu'environnemental. Cette remarquable structure voûtée en béton construite après la Première Guerre mondiale sur le modèle de la Halle Freyssinet à Paris a non seulement été préservée, mais elle est maintenant mise en valeur par un aménagement qui s'adapte à la topologie des anciens quais et où le bois apporte chaleur, confort et modularité d'usage.

> Un lieu créatif, ouvert et flexible

La halle est donc entrée dans une nouvelle ère, celle de l'économie créative, avec la variété d'usages que cela implique : elle abrite désormais des ateliers, des espaces événementiels et de travail ouverts au public ainsi que des espaces de travail privés de différents types. Par sa modularité et l'imagination avec laquelle il a été traité, le bois a permis de donner une place à chaque usage tout en facilitant aussi les réaménagements futurs en fonction des besoins de la programmation. Vitrine créative pour la ville, le Bazaar a été configuré pour s'ouvrir sur l'espace public : les façades ont été largement vitrées et une percée a été ménagée dans la halle pour rendre son activité visible de tous. À l'intérieur, les volumes sont aussi très ouverts et les quelques zones cloisonnées avec des murs à ossature bois pour les bureaux privatifs respectent la grille de la structure béton existante.

> Un enjeu majeur, l'isolation de l'existant

L'un des enjeux majeurs de la transformation a bien sûr été l'isolation de l'existant. Les toitures ont été désamiantées et isolées par l'extérieur, leurs verrières déposées et remplacées. Tous les murs ont été doublés par une ossature bois avec une isolation en fibre de bois, qui permet à la fois de traiter l'aspect acoustique et d'empêcher les pertes d'énergie à travers les murs en béton, tout en assurant une bonne régulation hygrothermique. L'optimisation de l'enveloppe s'accompagne de la mise en place d'un puits thermique de 30 m, qui alimente la centrale de traitement d'air avec l'air à température constante du sol (environ 13°C) et contribue aux économies d'énergie en hiver ainsi qu'au rafraîchissement en été. La toiture a également été équipée de 200 m² de panneaux photovoltaïques gérés par un tiers investisseur en convention de partenariat. ■

Conception

Un esprit industriel, magnifié par l'ajout d'une architecture bois chaleureuse

Une grande diversité d'espaces sont réunis sous les deux voûtes béton qui protègent le Bazaar. Renforcé par l'ambition des maîtres d'ouvrage de créer un lieu à l'image du foisonnement créatif de ses résidents, le potentiel de la halle a permis d'imaginer des aménagements en bois hors du commun, réalisés sur mesure et avec chacun leur particularité constructive qui leur donne une identité. Une multitude de formes de construction autour de l'assemblage bois a été réfléchi avec les charpentiers : des mezzanines ont profité de la topologie des anciens quais pour offrir 3 niveaux aux bureaux, des pavillons ont été dessinés pour accueillir les salles de réunion, des espaces de rangement variés ont été insérés en suivant la structure de la halle et de l'ossature bois.

Confort

L'apport du bois en termes de confort

- **Matériau brut** répondant à l'esprit architectural du projet, le bois a permis, en isolation comme en aménagement, de transformer en lieu de vie chaleureux et fonctionnel cette structure patrimoniale qui ne correspondait plus aux besoins de l'époque, sans pour autant la dénaturer.
- **Matériau naturel**, le bois apporte également ses qualités thermiques et acoustiques pour créer un environnement de travail confortable et sain.

Technique

Une variété de produits bois adaptés aux différents besoins de la réhabilitation

Le bois se décline sous de multiples formes présentant des niveaux de résistance et des bénéfices variés, qui offrent une grande souplesse d'utilisation et répondent au besoin de sur-mesure inhérent aux réhabilitations.

Le Bazaar St So en est le parfait exemple :

- **Bois massif** utilisé en structure et dans une partie du mobilier.
- **Fibre de bois** (semi-rigide ép. 150 mm) en isolation.
- **Panneaux multiplis et triplis** pour la finition des mobiliers.
- **Contreplaqué** en revêtement et pour certains cloisonnements.

RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES

- Ossature bois rapportée NF DTU 36.2
- Isolant en fibre de bois souple Sous Avis Technique
- Isolation Thermique Intérieure Guide RAGE « Isolation thermique intérieure »

Notes de mise en œuvre

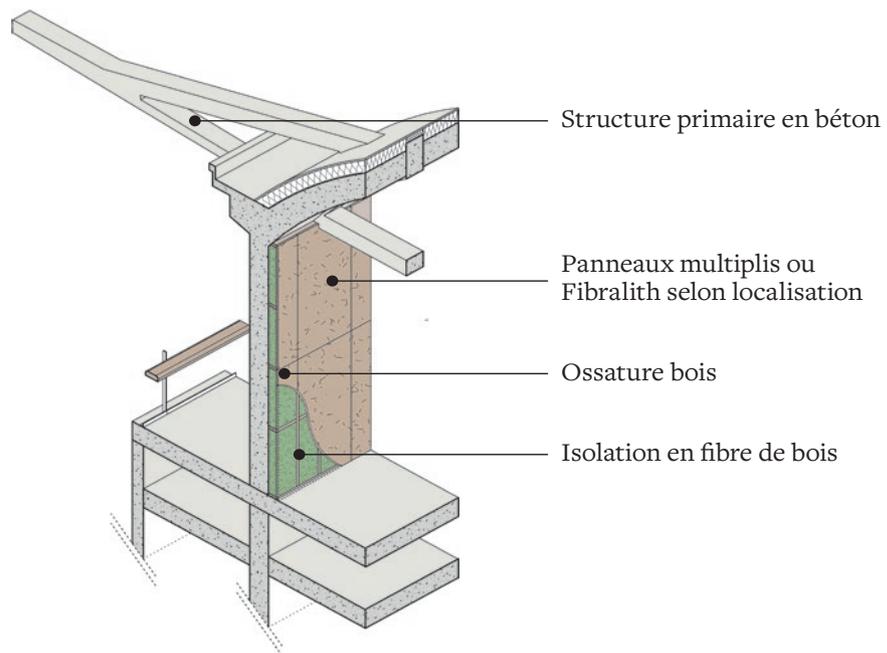
- Par sa polyvalence, le bois permet de créer des passerelles entre les étapes de structure et d'aménagement qui sont sources d'enrichissement pour le travail architectural. Des éléments structurels peuvent même devenir des supports d'aménagement, comme c'est le cas de l'ossature bois, utilisée pour constituer des rangements dans les ateliers du Bazaar.

- La réhabilitation de volumes importants comme ceux de la halle du Bazaar St So (5 m sous poutres), nécessite de porter une vigilance particulière aux questions acoustiques. Afin de traiter la réverbération, l'implication d'un acousticien de l'amont à l'aval du chantier est recommandée pour aider à définir les complexes de cloisons les plus adaptés à chaque espace. Ici par exemple, les bureaux privatifs sont isolés avec de la fibre de bois mais les pavillons, qui abritent les salles de réunion et sont situés dans un volume plus important, ont en plus été doublés avec des plaques de plâtre fibré associant gypse et cellulose.

- Une étude spécifique a été réalisée pour justifier l'absence de pare-vapeur, qui est couramment nécessaire.



Plan de coupe de la façade





Témoignages

Architecte

« La particularité du projet est d'avoir été mené dans un dialogue créatif constant entre maîtrise d'ouvrage, architectes et entreprises. Les intentions programmatiques ont beaucoup évolué et toutes les équipes ont travaillé en synergie pour réinventer le projet au fil de la réhabilitation. La halle est devenue à la fois le chantier et l'atelier de fabrication où nous avons pu concevoir chaque détail en collaboration avec les charpentiers.

La capacité d'adaptation du bois, que ce soit au niveau des plans ou dans les aménagements, a permis de décloisonner les phases de conception et de mise en œuvre et de poursuivre la conception tout au long du chantier. Les pavillons abritant les salles de réunion par exemple ont pu être imaginés en cours de projet.

En analysant la structure a posteriori, nous référons le même choix de privilégier le bois, en essayant toutefois de plus l'anticiper pour pouvoir développer l'approvisionnement local. »

Justine Labérenne >

Architecte, Béal & Blanckaert Architectes Urbanistes

Maître d'ouvrage

« SMart est une coopérative de travailleurs créatifs indépendants et initiativesETcité est une communauté d'entreprises de l'économie sociale et solidaire. Nous avons été retenus par la ville de Lille et la SPL Euralille pour assurer la rénovation et l'exploitation de la halle pour les 25 prochaines années et nous voulions donc que le projet incarne nos valeurs communes.

Conception et chantier participatifs, souplesse et rapidité de la chaîne de réalisation (moins de 2 ans de chantier, un beau challenge!), créativité des espaces, économie de matière et respect de l'environnement : les choix constructifs correspondent complètement à notre vision du projet et nous ont permis de vivre la réhabilitation de manière très organique, ce qui a été très agréable.

Nous continuons d'ailleurs avec les architectes de faire évoluer l'aménagement en fonction des besoins : nous avons par exemple développé une cabine en bois individuelle pour les visioconférences et, même si l'ouvrage est tout à fait conforme, nous travaillons pour offrir plus de confort aux personnes à mobilité réduite dans les cheminements.

Les premiers retours des résidents sont très positifs : le Bazaar plaît, il est lumineux et confortable, et les gens sont agréablement surpris : même avec des volumes importants, il est chaleureux en hiver et reste frais en été. Les équipes lilloises de SMart sont installées dans la halle depuis son ouverture et malgré la crise sanitaire, nous pouvons mesurer la capacité du lieu à répondre à son objectif : faire fructifier les échanges et accompagner la création et l'innovation d'une manière nouvelle. »

Benoit Garet > Responsable du Bazaar St So au sein du maître d'ouvrage SMart

Utilisateur

« Nous occupons des bureaux au sein d'un dock de 265 m² qui accueille 30 personnes et nous sommes très satisfaits de ce choix. D'abord parce c'est un lieu pluridisciplinaire qui nous permet de côtoyer plein de corps de métier différents.

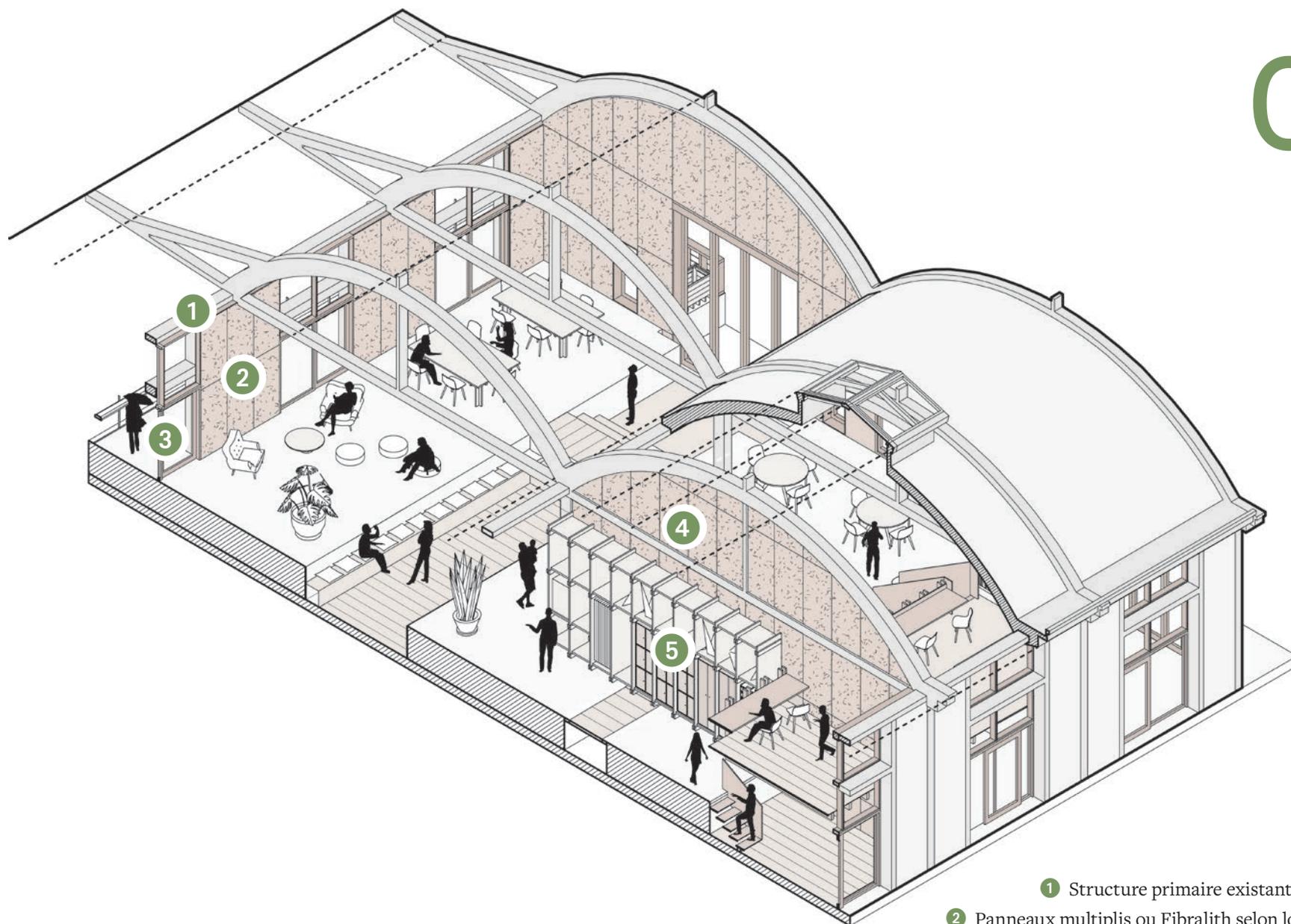
Ensuite son architecture est vraiment idéale pour nous. Elle nous offre un espace de travail très confortable, au sein de bureaux partagés mais avec un agencement qui, en suivant la topologie des anciens quais, permet de recréer le sentiment d'espaces un peu privés. Le parti-pris de la réhabilitation d'associer le bois au béton a amené un côté très chaleureux tout en gardant le caractère de la halle d'origine. C'est un bel endroit, dans lequel nous nous sentons très à l'aise pour travailler.

Nous avons des voisins mais l'ambiance acoustique ne nous donne pas l'impression d'être trop nombreux. Même quand nous étions en demi-jauge cet hiver, nous n'avons pas du tout eu froid et nous sommes installés sous une mezzanine donc nous n'avons pas non plus trop d'ensoleillement l'été (nos voisins sous la verrière ont cependant préféré poser un rideau). Notre seul regret est de ne pas avoir encore pu échanger beaucoup avec les locataires des ateliers mais nous espérons que la fin de la crise sanitaire nous permettra de mieux profiter des espaces de convivialité. »

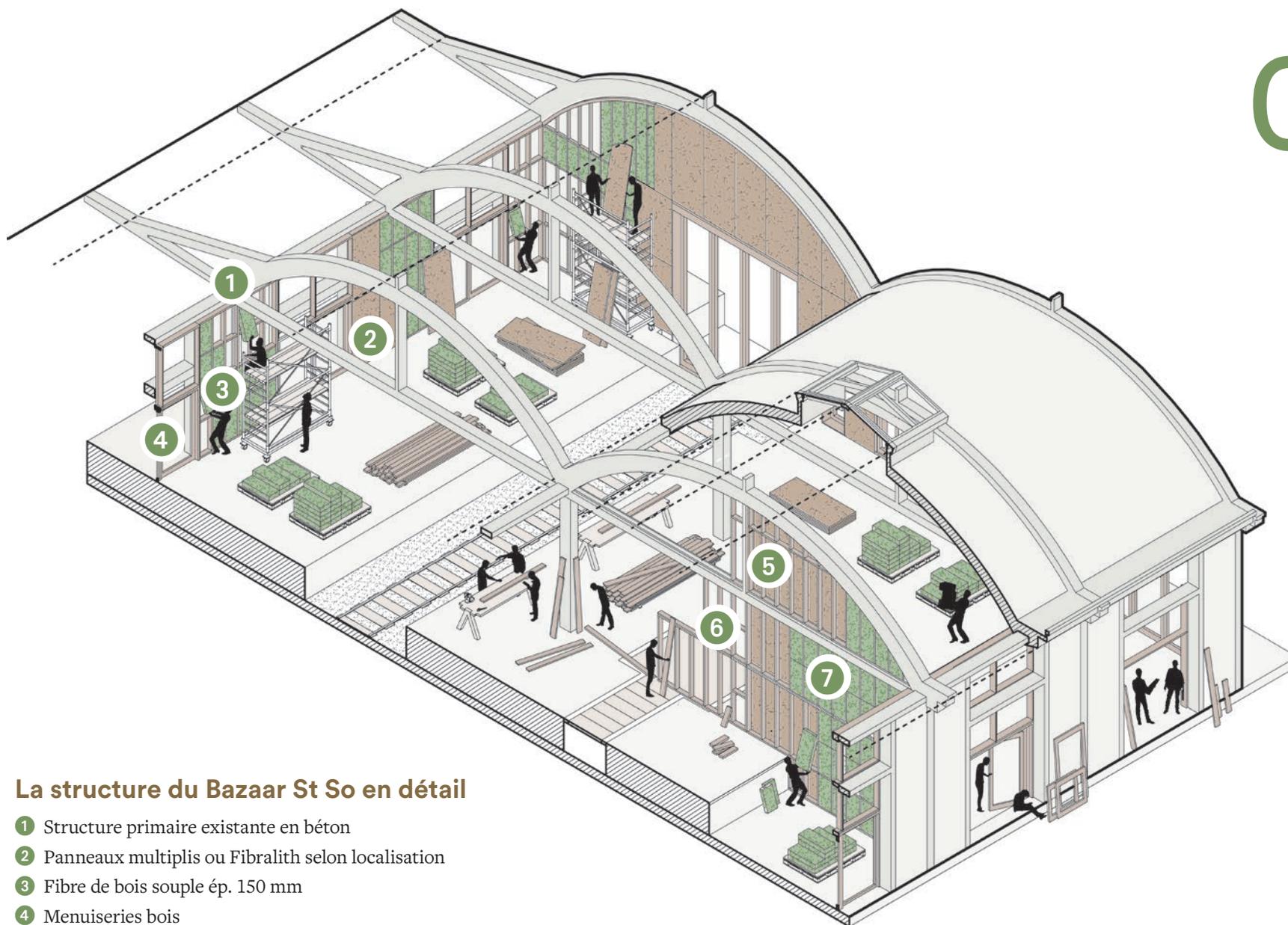
Juliette Cheval & Sébastien Nicot >

Designers signalétique au sein de Polygraphik et installés au Bazaar St So depuis son ouverture





- ① Structure primaire existante en béton
- ② Panneaux multiplis ou Fibralth selon localisation
- ③ Menuiseries bois
- ④ Panneaux multiplis ou contreplaqué selon localisation.
- ⑤ Mobilier en bois massif et panneaux 3 plis



La structure du Bazaar St So en détail

- ① Structure primaire existante en béton
- ② Panneaux multiplis ou Fibralth selon localisation
- ③ Fibre de bois souple ép. 150 mm
- ④ Menuiseries bois
- ⑤ Panneaux multiplis ou contreplaqué selon localisation
- ⑥ Ossature en bois massif
- ⑦ Fibre de bois souple ép. 150 mm





- Dalle béton
- Planchers bois, isolation chanvre
- Murs à ossature bois, isolation paille
- Caissons de toiture bois, isolation fibre de bois
- Cloisons en ossature bois, isolation chanvre, lin et coton
- Enduits intérieurs en terre

« L'approche environnementale du Village Alice & Victor répond à une ambition : réduire l'énergie grise des bâtiments en donnant la priorité à l'utilisation de ressources biosourcées locales comme le bois, la paille et la terre. »

Marine Jacques-Leflaive
Architecte > Atelier Zéro Carbone Architectes

- Maître d'ouvrage : SCI A & V
- Architecte : Atelier Zéro Carbone Architectes
- Localisation :
7 rue de la Combe aux Métiers, 21800 NEUILLY-CRIMOLOIS
- Livraison : 2018
- Surface : 1 173 m² SHAB
- Coût des travaux : 3,56 M€ HT (3 032 €/m²)
- BET Structure : Gaujard Technologies Scop
- Entreprises : SAS P. Guinot (VRD), Deblangey (maçonnerie), Sacet (construction bois), Labeaune (étanchéité), Bourgogne Écologie (isolation), Menuiserie Remond et Donolo Frères (menuiseries)

Village Seniors Alice & Victor

Un village pour seniors novateur, réalisé à partir de ressources biosourcées locales

02

> Une structure intermédiaire entre la résidence à domicile et l'EHPAD

Aux portes de Dijon, le Village Seniors Alice & Victor incarne une vision nouvelle de ce type d'établissement. Structure intermédiaire entre le domicile privé et la maison de retraite, il offre le confort d'appartements d'une grande qualité résidentielle tout en faisant bénéficier ses résidents d'une surveillance 24h/24 et de services d'aide à la personne à la carte. Novateur par son architecture d'inspiration pavillonnaire et son esprit village qui permet aux résidents de conserver leur autonomie tout en déjouant la solitude, le village l'est aussi par ses choix constructifs exemplaires sur le plan environnemental.

> Des pavillons associant bois, paille, chanvre et terre

Pour répondre à la volonté du maître d'ouvrage de faire travailler des entreprises locales autour d'un projet respectueux de l'environnement, les architectes ont imaginé une structure associant bois, paille, chanvre et terre. Chacun des 10 pavillons est constitué de murs à ossature bois isolés en bottes de paille, surmontés de caissons de toiture isolés en fibres de bois. L'ensemble est préfabriqué à quelques kilomètres du chantier, majoritairement à partir de douglas du Jura. Planchers et cloisons sont aussi en bois, avec une isolation à base de chanvre. Enfin, les appartements sont en partie revêtus en intérieur d'un enduit terre laissant respirer les murs.

> 21 appartements étudiés pour le confort et la sécurité des résidents

Tous prolongés d'un extérieur et accessibles de plain-pied, les appartements vont du studio au 3 pièces. Ils sont dotés de surfaces généreuses (50 m² pour un studio) et, s'ils s'adressent aux personnes âgées valides, sont néanmoins adaptés aux difficultés de mouvement qu'elles peuvent rencontrer avec des placards sur vérin, des plans de travail à hauteur variable... Le système domotique connecté au dispositif électrique et à la gestion des fluides permet d'exercer une vigilance sur la santé des résidents (en matières d'hygiène, d'alimentation ou de sommeil), sans pour autant être intrusif. ■

Conception

Un village aux matériaux naturels et à la circulation facilitée

Les architectes ont géré la forte déclivité du terrain en créant 2 plateaux accessibles par 2 circulations distinctes. Les 4 bâtiments du plateau haut (3 structures résidentielles et un bâtiment accueillant les espaces de vie communs) sont de plain-pied et les 6 bâtiments du plateau bas, chacun sur 2 niveaux, sont reliés au plateau haut par des passerelles. Les circulations sont optimisées à la fois pour une desserte piétonne et pour les véhicules électriques mis à disposition des résidents par le village. La priorité donnée aux matériaux naturels est visible dans les façades, avec des bardages bois peints à l'ocre et des enduits à la chaux. Enfin, les aménagements paysagers ont été étudiés pour favoriser la vie en extérieur et maintenir l'envie de sortir des personnes âgées.

Confort

L'apport de la paille en termes de confort

- La paille possède des caractéristiques hygrothermiques qui assurent un déphasage thermique (la durée entre le moment où elle est exposée à un rayonnement solaire et celui où elle le restitue) plus long que les isolants conventionnels. Elle permet par conséquent d'atténuer les pics de température et d'offrir un excellent confort d'été.
- Peu ou pas transformée, et donc très peu énergivore dans sa fabrication, la paille se distingue également du point de vue sanitaire par de faibles émissions de composés organiques volatiles (COV). Elle garantit donc une ambiance saine et naturelle.

Technique

Une attention particulière portée à l'isolation

La commune de Neuilly-Crimolois est voisine de l'aéroport de Dijon-Bourgogne et le Village Seniors Alice & Victor est implanté le long de sa route principale. Un soin particulier a donc été porté à l'isolation des pavillons pour conjuguer à la fois performance thermique et acoustique. Les murs à ossature bois sont remplis avec de la paille ép. 360 mm, assurant une continuité d'isolation et une absence de ponts thermiques. Ils sont ensuite doublés avec, à la place de panneaux supports d'enduits classiques, des panneaux en fibres de bois ép. 35 mm.

Une réelle performance acoustique et thermique

Cette enveloppe extérieure est accompagnée à l'intérieur d'une isolation des planchers en laine de chanvre et des cloisons avec un mélange chanvre, lin et coton. L'ensemble du complexe isolant permet de préserver le confort acoustique des appartements et d'offrir une réelle performance thermique puisque, selon la taille des appartements, la production d'eau chaude et le chauffage s'élève entre 11 et 15 euros à l'année.

Notes de mise en œuvre

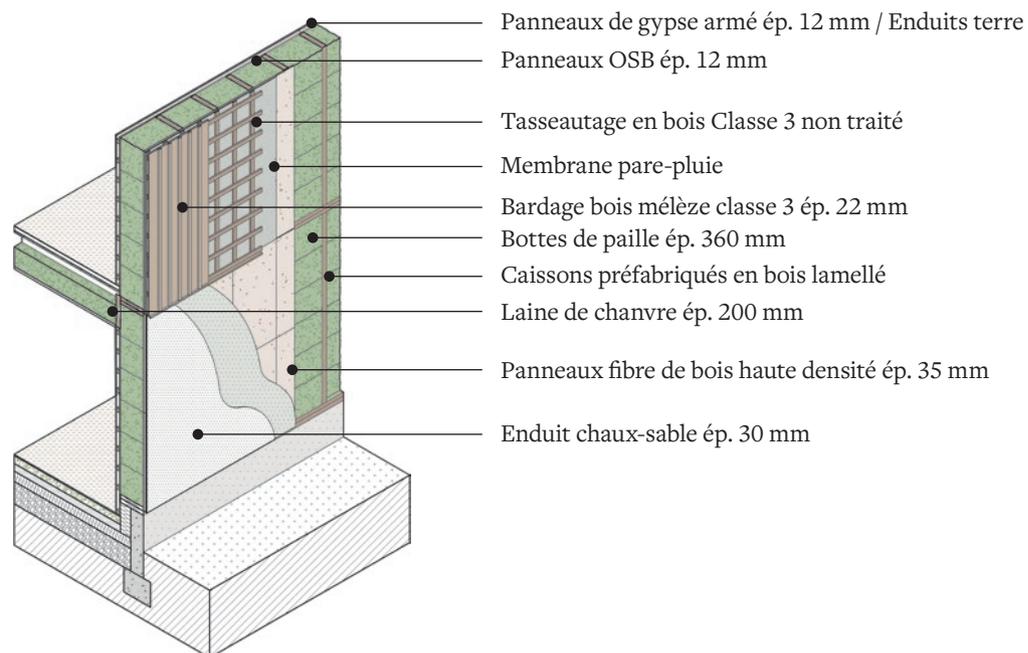
- Les enduits terre ont une capacité hygroscopique et laissent respirer les murs sans bloquer l'humidité. Ils sont en revanche un peu plus fragiles que les enduits traditionnels. Même s'ils se réparent facilement, on les privilégiera plutôt en parties hautes pour des lieux accueillant des activités susceptibles d'occasionner des chocs sur les parois.
- Ressource abondante et disponible partout en France, la plupart du temps en circuit court, la paille est un isolant très économique mais sa mise en œuvre doit s'anticiper car c'est un produit saisonnier.

RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES

- Bardage bois : NF DTU 41.2
- Membrane pare-pluie : NF DTU 31.2
- Bottes de paille : Règles Professionnelles
- Panneaux de fibre de bois haute densité sur ossature : NF DTU 31.2
- Enduit sur panneaux de fibre de bois : Sous Avis Technique
- Caissons préfabriqués : NF DTU 31.2
- Toiture terrasse : DTU 43.4 et recommandations professionnelles du guide RAGE
- Laine de chanvre : Sous Avis Technique



Plan de coupe de la façade





Témoignages

Maître d'ouvrage

« De concert avec les architectes, nous nous sommes fixés comme objectif de construire un lieu au standard passif, décarboné et s'appuyant sur des ressources et entreprises locales. Mission accomplie ! Les retours que nous avons des résidents sont extrêmement positifs : ils apprécient à la fois l'esprit village que favorise son architecture et le confort de leurs appartements.

Le village Alice & Victor est un concept innovant qui répond à l'évolution de la société française. Sa structure constructive l'est aussi et elle a toute son importance pour contribuer à son développement, notamment avec nos prochaines ouvertures en périphérie de Lyon et de Dijon.

Personnellement je suis très satisfait des choix constructifs. Le prochain village reprendra le même type de solutions, avec une évolution sur le plan domotique car les systèmes ont beaucoup progressé depuis. Nous intégrerons également la géothermie et essaierons d'étendre encore la préfabrication afin d'optimiser les délais et de permettre au modèle économique du village de s'élargir auprès de retraités aux revenus plus modestes. »

François Scherer > Maître d'ouvrage,
gérant du Village Seniors Alice & Victor

Architecte

« Depuis l'évolution de la réglementation en 2012, c'est le dixième projet que nous construisons en structure bois avec isolation paille, donc nous avons pu constituer un réseau d'entreprises partenaires avec qui nous travaillons en confiance. C'est un point important quand on sort des modes de construction conventionnels : savoir s'entourer de gens qui ont envie d'aller de l'avant et de sortir des sentiers battus, notamment au niveau des bureaux d'étude.

Le choix du bois et de la paille s'est imposé de lui-même pour conjuguer ressource locale, performance thermique et qualité sanitaire. Le chantier a été rapide et s'est bien déroulé : le village a été construit en 18 mois, un délai rendu possible grâce à la préfabrication des caissons de l'ossature bois intégrant l'isolation en paille, qui s'effectue en même temps que les travaux de terrassement.

Concernant la mixité des matériaux, la seule chose que nous remettrions en question dans de futurs projets est le fait d'habiller la fibre de bois isolant les façades avec un enduit à la chaux : par temps de pluie, il a tendance à se teinter d'un aspect tannique qui, pour nous, n'est pas optimal sur le plan esthétique. »

Marine Jacques-Leflaive >

Architecte, Atelier Zéro Carbone Architectes

Utilisateur

« J'habite le village depuis son ouverture et je ne regrette absolument pas ce choix, l'équipe qui l'anime est très humaine et pour moi c'est vraiment la solution idéale : j'ai gardé toute mon indépendance mais je me sens en sécurité au cas où il m'arriverait quelque chose. Mon avis sur mon appartement ? D'abord j'ai un bel espace, ensuite il est sain, écologique et avec des équipements adaptés qui me facilitent la vie. Avant d'habiter le village j'avais une maison et, même si elle était équipée de doubles vitrages, le confort n'était pas du tout pareil.

Ici j'ai l'impression d'avoir toujours une température constante, je ne ressens pas le froid. Il n'y a pas de climatisation mais l'été, même en période de canicule, la température n'est jamais montée au-dessus de 28/29°C, ce qui reste tout à fait acceptable. J'espère y vivre encore longtemps ! »

Liliane Walaine >

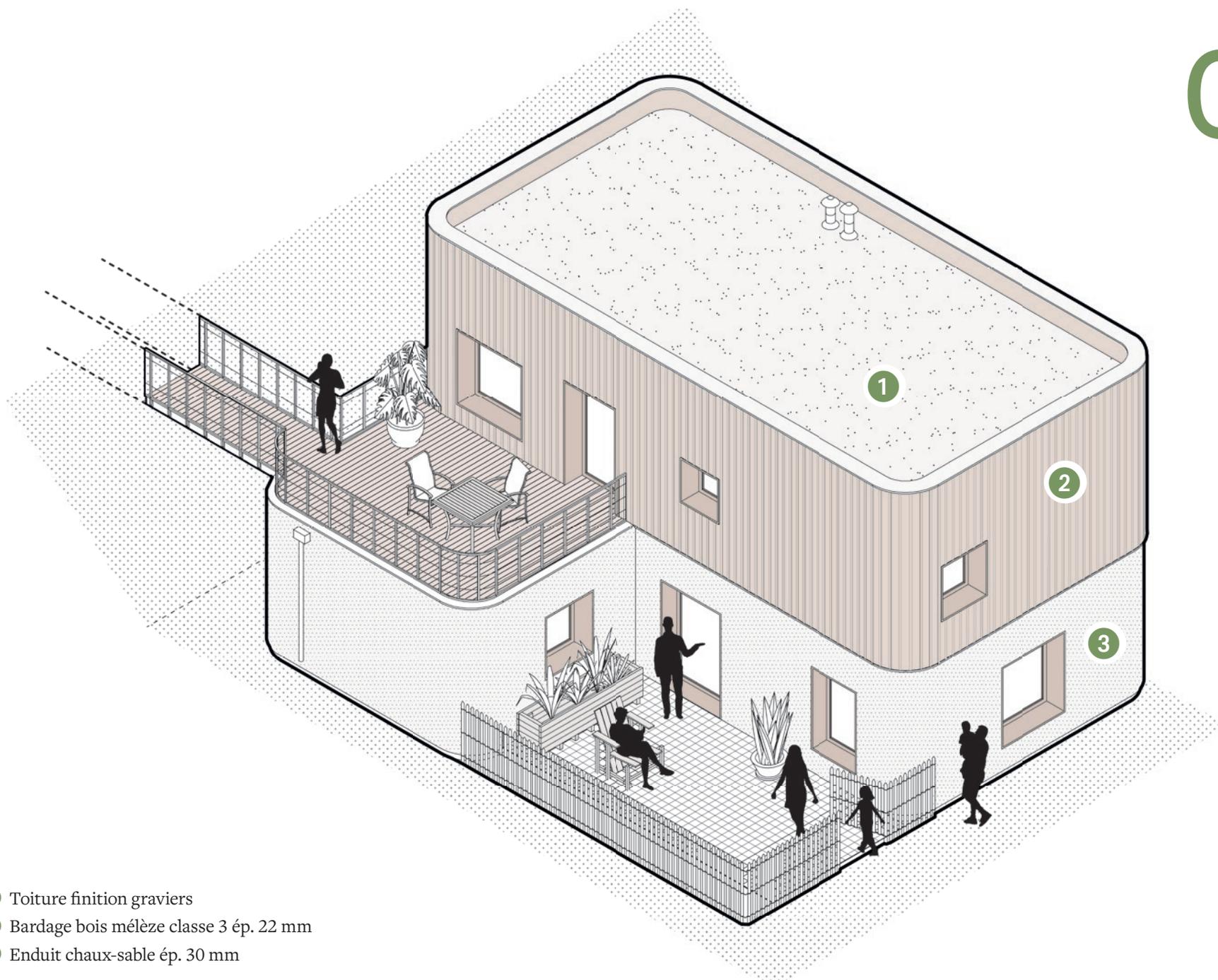
Résidente du Village Seniors Alice & Victor

02





Photos : Atelier Zéro Carbone Architectes

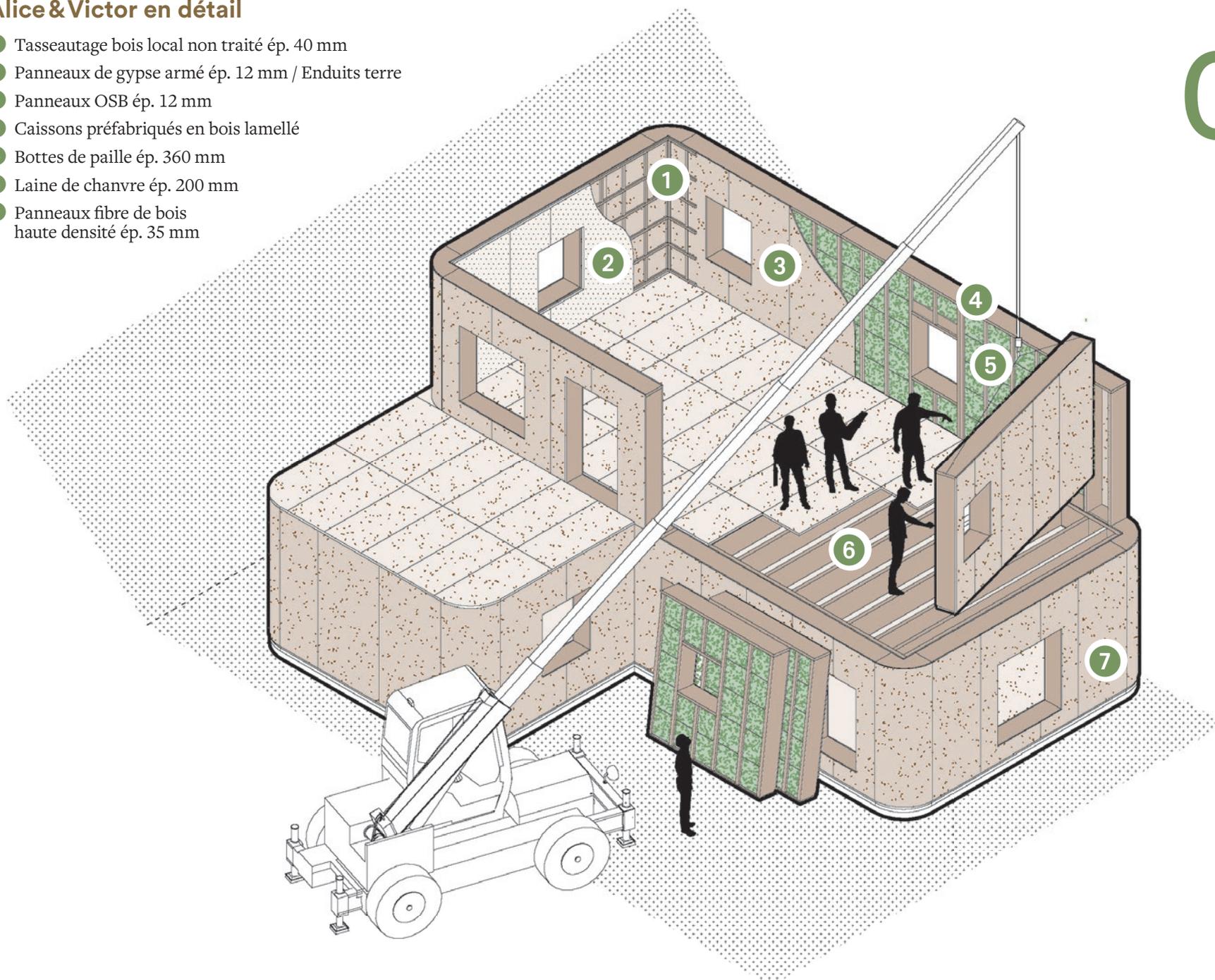


- ① Toiture finition graviers
- ② Bardage bois mélèze classe 3 ép. 22 mm
- ③ Enduit chaux-sable ép. 30 mm

La structure du Village Seniors Alice & Victor en détail

- 1 Tasseutage bois local non traité ép. 40 mm
- 2 Panneaux de gypse armé ép. 12 mm / Enduits terre
- 3 Panneaux OSB ép. 12 mm
- 4 Caissons préfabriqués en bois lamellé
- 5 Bottes de paille ép. 360 mm
- 6 Laine de chanvre ép. 200 mm
- 7 Panneaux fibre de bois haute densité ép. 35 mm

02



PÔLE ENFANCE CAPCIR GARROTXES

CRÈCHE





- Dalle béton
- Planchers en CLT (bois lamellé croisé), isolation fibre de bois
- Portiques en bois lamellé
- Charpente en bois lamellé et CLT
- Murs à ossature bois, isolation paille et fibre de bois
- Cloisons à ossature bois, isolation ouate de cellulose

« La construction du Pôle Enfance s'inscrit dans une démarche de haute qualité environnementale : la compacité du projet réduit l'impact sur le grand paysage et le parti-pris d'aménagement permet un fonctionnement bioclimatique des bâtiments équivalent au standard BEPOS. »

Hervé Meyer
Architecte > Apache Architectes

- **Maître d'ouvrage :** Communauté de Communes des Pyrénées Catalanes
- **Architecte :** Apache Architectes
- **Localisation :** Lieu-dit Lò Tord, 66210 MATEMALE
- **Livraison :** 2020
- **Surface :** 3 380 m² SDP
- **Coût des travaux :** 5,82 M€ HT (1 723 €/ m²)
- **BET :** Alteaboïs (structure), Lina Conseil (acoustique), OTCE (thermique), Apache Architectes (environnement)
- **Entreprises clos couvert :** Eiffage Roussillon (gros œuvre), Sud Charpentes (structure bois, couverture), Asten (étanchéité), Hijosa et Fils (menuiseries & mobiliers)

Pôle Enfance Capcir Garrotxes

Une architecture bioclimatique en osmose avec son milieu naturel

03

> Face à la forêt pyrénéenne, un pôle chaleureux et respectueux de l'environnement

Situé sur le plateau du Capcir, à plus de 1 400 m d'altitude, le village de Matemale abrite le Pôle Enfance de la Communauté de Communes des Pyrénées Catalanes dans un cadre naturel préservé. Permettant d'inscrire le projet pédagogique dans la continuité, le pôle rassemble sur un même site une crèche de 25 berceaux, un centre de loisirs, une école primaire de 140 enfants (maternelle et élémentaire), un restaurant scolaire et un gymnase. Chaleureux et ouvert sur la nature, le pôle a été conçu avec une forte ambition environnementale, partagée à la fois par la maîtrise d'ouvrage et les architectes, et a été récompensé du Prix Régional de la Construction Bois Occitanie dans la catégorie Apprendre en 2021.

> Un plan similaire pour chacune des entités du pôle

Les 5 bâtiments du pôle sont tous disposés selon une orientation nord-sud, le long de deux cheminements croisés perpendiculaires protégés d'une ombrière bois qui permet aux élèves de se déplacer à l'abri des intempéries. Conçue selon un principe bioclimatique, chacune des entités est organisée de la même façon : un espace servant au nord retranscrit à travers un volume bas revêtu de bois et,

en partie sud, un volume plus haut revêtu de métal qui accueille les espaces de vie et les salles de classe. Ce jeu de toitures apporte des entrées de lumière naturelle côté nord et offre la possibilité d'une ventilation croisée.

> Le bois et la paille pour un environnement protecteur

Hormis le gymnase, tous les bâtiments possèdent une solution constructive identique. Reposant sur une dalle béton, chaque entité est constituée de portiques en bois lamellé et de murs à ossature bois enfermant une isolation en paille (détail de mise en œuvre dans le Focus Technique). Les cloisons sont quant à elles isolées avec de la ouate de cellulose sur une épaisseur de 70 mm. Le solivage de la charpente entre les portiques en bois lamellé est en CLT (bois lamellé croisé). Les toitures inclinées des volumes au sud sont en bac acier laqué avec des stops-neige, celles des volumes bas au nord sont végétalisées. Toutes les menuiseries sont en bois, avec capotage aluminium pour celles au nord qui ne sont pas protégées par un auvent. Formant un cocon protecteur dans un environnement de montagne où le climat peut être rugueux en hiver, le bois se décline également dans le mobilier des classes et de la cantine pour constituer un cadre à la fois clair et chaleureux. ■

Conception

La conception bioclimatique au service du confort et de l'efficacité énergétique

Les bâtiments sont tous implantés selon une orientation nord-sud, qui offre une efficacité énergétique optimale. Une coupe bioclimatique « concept » a servi de base pour les concevoir. Dans un environnement montagneux, l'orientation sud de l'ensemble des espaces principaux des bâtiments a été privilégiée afin de pouvoir capter un maximum d'énergie solaire passive, qui permet de réduire les consommations de chauffage et d'offrir plus de confort aux espaces où les enfants passent leurs journées.

Les façades sud sont largement ouvertes et des auvents sont dimensionnés en fonction de la course solaire afin d'éviter le rayonnement direct sur les vitrages à partir du 1^{er} juin. Ils assurent à la fois la protection face au soleil et aux intempéries. Plus hauts, les volumes au sud sont équipés en façade nord d'ouvrants en imposte protégés de la neige par des acrotères. Laissant entrer la lumière dans les circulations centrales, ils permettent, associés aux ouvrants côté sud, de créer une ventilation naturelle croisée en été. La disposition globale des bâtiments présente également l'intérêt d'abriter des vents froids dominants.

Confort

Paille et bois, 2 matériaux naturels pour un cadre de vie sain et apaisant

Offrant une grande qualité d'air intérieur, la paille et le bois sont particulièrement adaptés pour créer un environnement sain dans les lieux de vie accueillant les enfants. Dans le cas du Pôle Enfance Capcir Garrotxes, l'usage

du bois en structure s'est prolongé dans les aménagements intérieurs : des panneaux en bois massif habillent les murs et une grande partie du mobilier est en bois sans revêtement de surface synthétique, comme par exemple les tables du restaurant scolaire ou les bureaux du corps enseignant, pour lesquels l'acceptation du vieillissement de la matière a été parfaitement assumée par la maîtrise d'ouvrage. Jouant également un rôle important dans la sérénité acoustique à travers le revêtement des parties hautes en fibre de bois habillée d'un lattis en pin des Landes, le bois montre l'étendue de son potentiel pour offrir un cadre apaisant à l'apprentissage scolaire.

Technique

Les murs à ossature bois en caissons de paille

Préfabriqués et remplis en atelier puis assemblés sur le chantier, les caissons de paille permettent, avec des engins de levage adaptés, d'édifier un bâtiment en quelques jours et de garder la paille toujours protégée des intempéries. Ils peuvent être structurels, comme c'est le cas dans le pôle Enfance Capcir Garrotxes, ou simplement jouer le rôle d'isolant en étant fixés à une structure porteuse. Les bottes de paille utilisées en construction ont généralement une hauteur et une largeur fixe et une longueur variant entre 800 et 1200 mm. Leur densité doit être comprise entre 80 et 120 kg/m³. Outre la paille, les caissons structurels du Pôle Enfance sont formés d'une ossature en douglas, revêtue de panneaux de fibres de bois ép. 12 mm côté extérieur et de panneaux ép. 10 mm côté intérieur.

Notes de mise en œuvre

Des solutions biosourcées pour répondre aux enjeux acoustiques

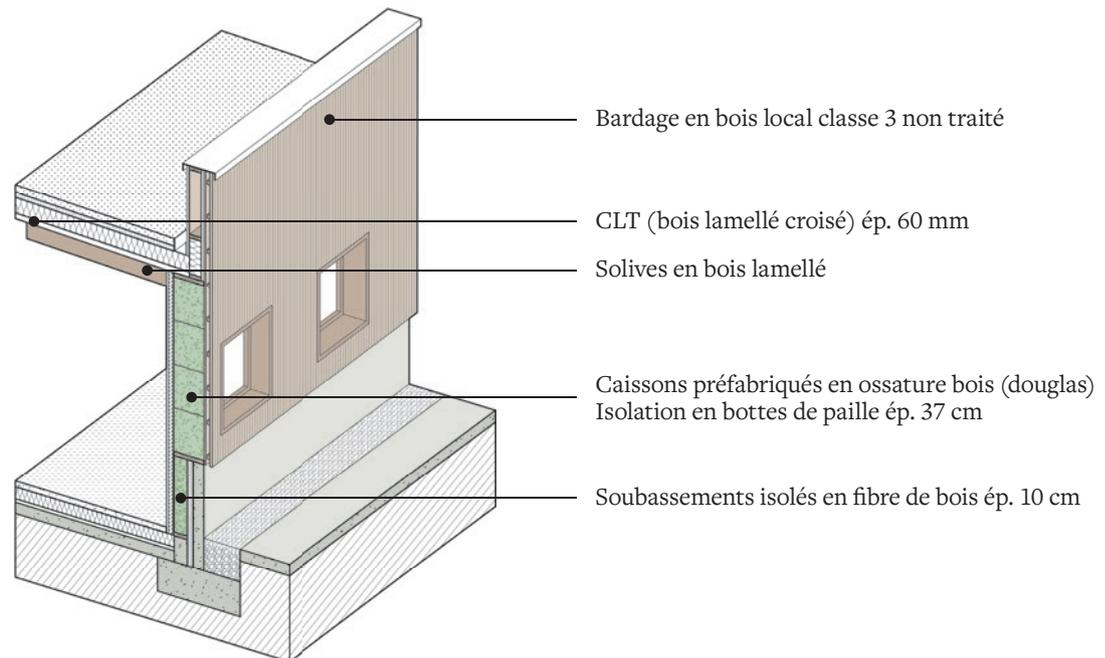
Ils se fondent dans le décor et diminuent le temps de réverbération des sons dans tous les endroits stratégiques du Pôle Enfance : revêtus de lattis en bois massif, les panneaux acoustiques développés par le bureau d'étude acoustique du projet sont composés d'une structure en bois et d'un absorbant acoustique en fibre végétale. Répondant au classement anti-feu B-S1, d0, ils sont posés sur les murs de la cantine, des salles de classe et au plafond des circulations.

RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES

- Bardage : NF DTU 41.2
- CLT (bois lamellé croisé) :
Sous Avis Technique
- Solives en bois lamellé : NF DTU 31.2
- Préfabrication en ossature bois :
NF DTU 31.2
- Isolation en bottes de paille :
Règles professionnelles
- Cloison ossature bois : NF DTU 36.2
- Isolation des cloisons en ouate
de cellulose : Sous Avis Technique



Plan de coupe de la façade





Témoignages

Maître d'ouvrage

« Implanté à côté des infrastructures sportives existantes, le Pôle Enfance regroupe sur un même site des établissements auparavant disséminés dans différents villages.

Au-delà de l'objectif écologique, le choix de s'inscrire dans une démarche environnementale et d'innovation ambitieuse a été bénéfique à plusieurs niveaux. Les subventions que nous avons pu obtenir nous ont permis de construire un bâtiment certes d'un budget plus élevé, mais dont l'entretien nous coûtera moins cher sur les 50 prochaines années. Ce choix nous a aussi beaucoup aidé à porter le projet auprès des différentes parties prenantes, notamment vis-à-vis des villages qui ont connu le transfert de leur école. Et surtout il nous a fait entrer, grâce à l'accompagnement de la maîtrise d'œuvre, dans une logique plus vertueuse sur de nombreux plans, à la fois pendant la construction et au-delà.

Par exemple, nous avons, depuis, souscrit un contrat de biogaz pour alimenter la chaudière de secours et de relevage qui évite le surdimensionnement de la chaudière principale à plaquettes bois (produites par la scierie locale).

Le Pôle Enfance a été très bien accueilli par tout le monde, il faut dire qu'on s'y sent tout de suite bien et qu'il offre un grand confort d'usage, tant acoustique que thermique. Nous n'avons pas encore exploité toutes les données de la GTC (Gestion Technique Centralisée) mais les relevés de factures énergétiques paraissent tout à fait cohérents avec les estimations prévues. »

Nicolas Bely > Chef de pôle Environnement, Infrastructures & Bâtiments de la Communauté de Communes des Pyrénées Catalanes

Architecte

«La liberté en matière de réglementation urbaine et l'implication forte du maître d'ouvrage ont permis de répondre à une grande exigence sur le plan environnemental.

L'arbitrage au sein de l'économie du projet a privilégié au maximum les matériaux biosourcés et locaux. D'une part avec l'emploi de la paille, et d'autre part dans la mise en œuvre du bois avec l'utilisation, chaque fois que cela était possible, d'essences régionales comme par exemple le pin sylvestre, le pin à crochets ou le mélèze utilisés en bardage, qui sont issus de la scierie intercommunale située à moins de deux kilomètres du site.

Les murs à ossature bois sont constitués de caissons qui ont été entièrement préfabriqués et remplis de paille en atelier. Je recommanderais d'être vigilant sur l'assemblage des caissons car la paille rentrée en force peut occasionner des déformations et des joints irréguliers. À ce point près, l'ensemble du chantier s'est parfaitement bien déroulé.»

Hervé Meyer > Architecte, Apache Architectes

Utilisateur

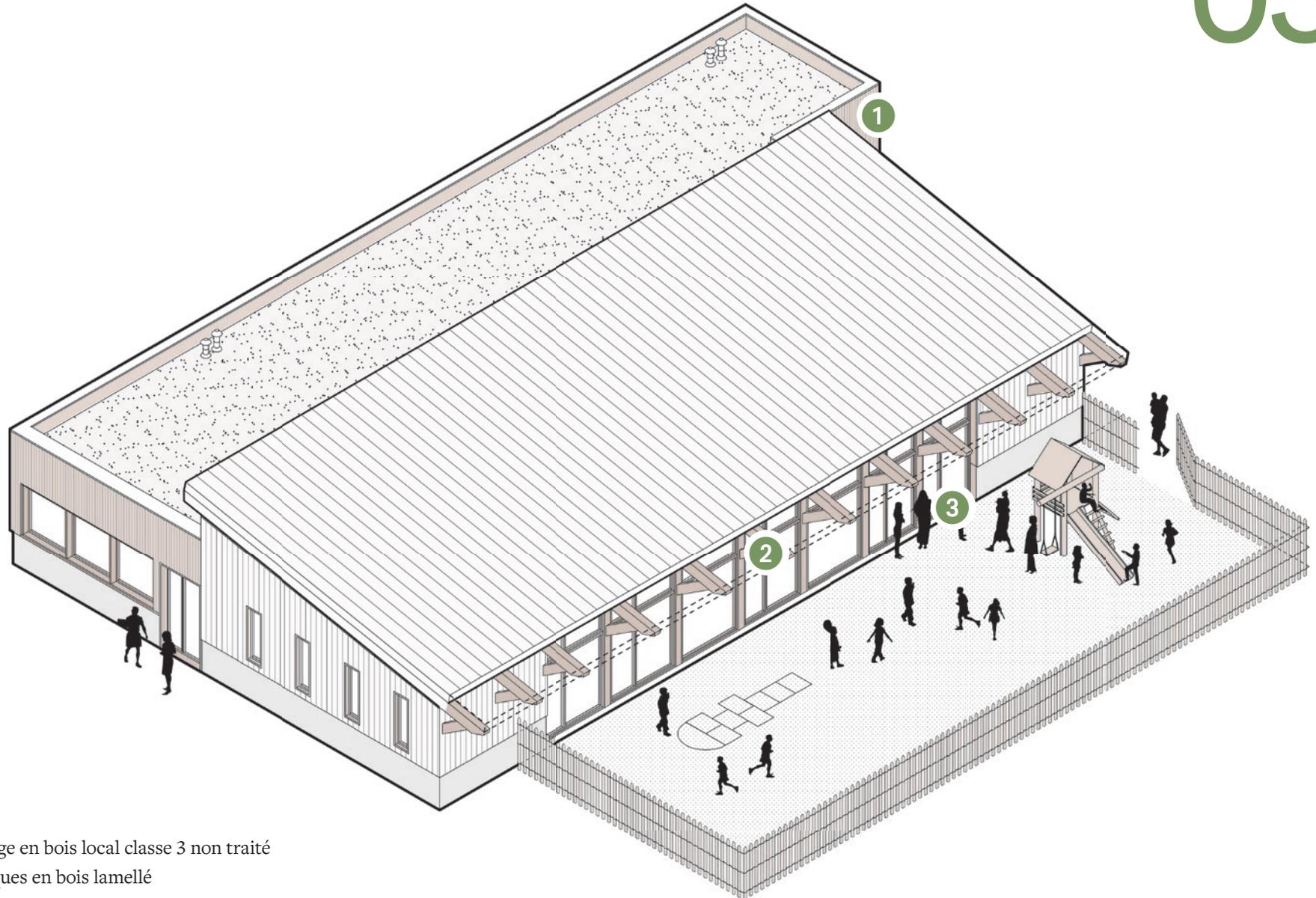
«Conçu en associant le corps enseignant, les professionnels de la petite enfance et les parents d'élèves aux choix d'aménagements, le Pôle Enfance constitue le lieu idéal pour mettre en œuvre notre projet pédagogique. La proximité de toutes les structures apporte du confort aux enfants comme aux parents et permet de créer des passerelles facilitant les différentes étapes de l'apprentissage.

Premiers concernés, les enfants vivent dans un environnement sain, avec un maximum de matériaux naturels et, point sur lequel nous avons été particulièrement vigilants, une qualité de confort sonore qui est très agréable.

Par leurs aménagements différenciés, les bâtiments répondent à nos volontés pédagogiques, avec par exemple des classes ouvertes pour les maternelles et un univers très ludique pour le centre de loisirs. Le lien avec la nature est également très important : les cours de récréation sont enherbées, les abords de la forêt sont aménagés pour accueillir des cours en plein air, un potager est installé au centre du pôle et les enfants trient leurs déchets à la cantine pour alimenter la plateforme de compostage implantée sur le site. Et ils peuvent même apercevoir les biches qui viennent manger les fleurs aux abords de l'établissement ! »

Esther Moquet > Cheffe de Pôle Enfance, Jeunesse, Santé & Social de la Communauté de Communes des Pyrénées Catalanes



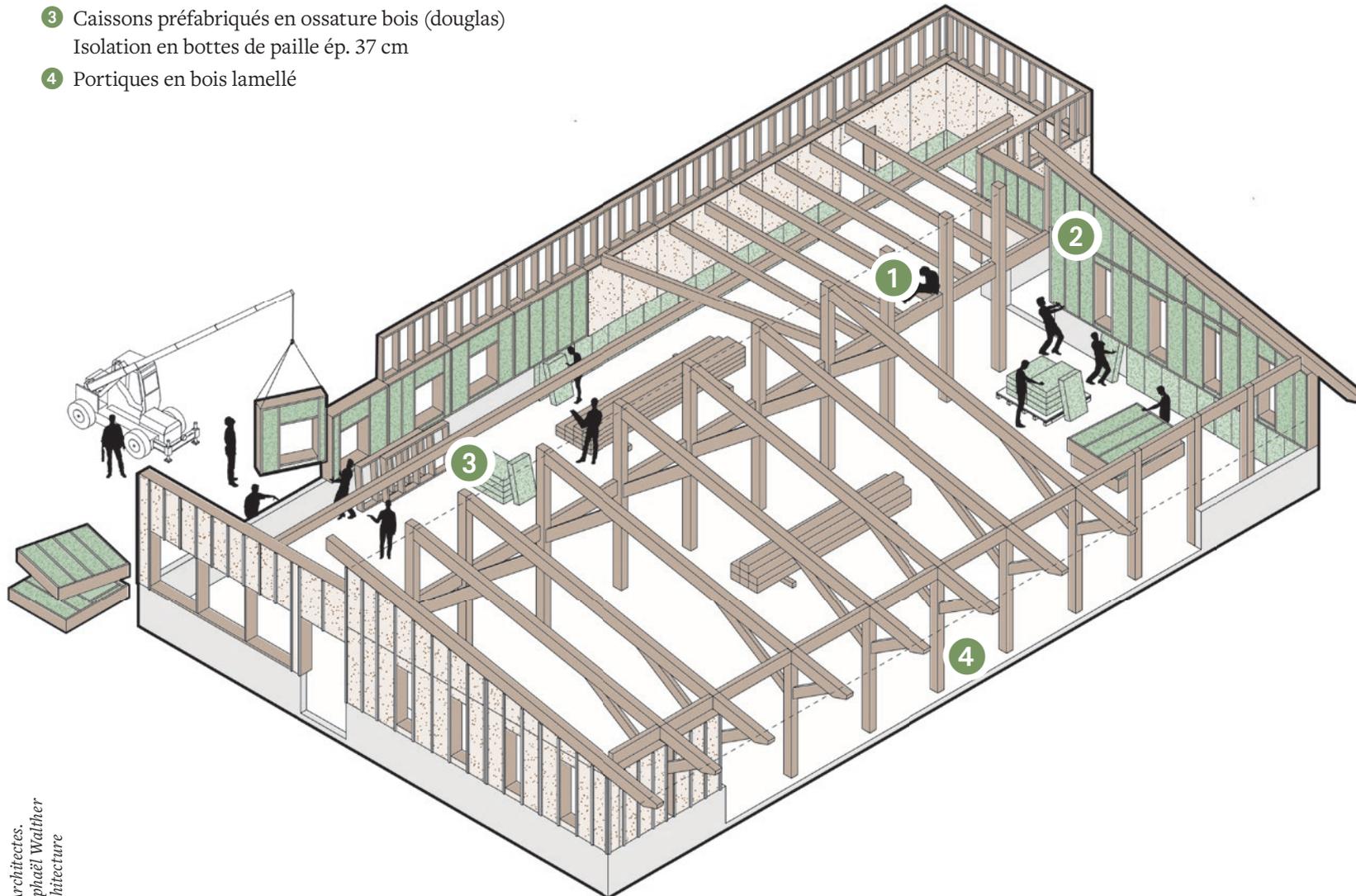


- ① Bardage en bois local classe 3 non traité
- ② Portiques en bois lamellé
- ③ Menuiseries extérieures en bois

La structure du Pôle Enfance Capcir Garrotxes en détail

- 1 Solivage en bois lamellé
- 2 Soubassements isolés en fibre de bois ép. 10 cm
- 3 Caissons préfabriqués en ossature bois (douglas)
Isolation en bottes de paille ép. 37 cm
- 4 Portiques en bois lamellé

03







- Dalle béton, isolation liège
- Plancher intermédiaire en CLT (bois lamellé croisé), isolation liège et chanvre
- Murs en CLT et poutres en I, isolation ouate de cellulose
- Charpente en CLT, isolation polyuréthane
- Poteaux en bois lamellé
- Bardage bois

« Le projet s'inscrit dans une démarche de développement durable très affirmée : maison passive, éco-matériaux, circuit-court. De l'implantation jusqu'au mobilier, tout a été pensé pour minimiser l'empreinte environnementale. »

Alice Pamela > Architecte

- Maître d'ouvrage : M. & Mme Pamela
- Architecte : Alice Pamela
- Localisation : 35 bis rue de l'Odet, 29120 COMBRIT SAINTE-MARINE
- Livraison : 2020
- Surface : 169 m² SHAB
- Coût des travaux : 431 K€ HT (2 550€/ m²) hors foncier, VRD et honoraires
- BET : Études Bois du Barrois (structure), Batitherm Conseils (thermique), Concept Engineering (béton)
- Entreprises clos couvert : Denis Tanguy (terrassement, VRD), H&N Trad'29 (maçonnerie), Sarl Construibois (construction bois), Sarl Pleyber (couverture), Escalier Provost (escalier), Agencement Éric Bilien (menuiseries)

Maison Koad Du

Une maison passive ouverte sur le paysage

04

> Un projet pensé pour offrir un cadre de vie sain et naturel

Une famille amoureuse de la nature, un emplacement à quelques centaines de mètres de l'océan et d'un authentique port breton près de Benodet : quand l'opportunité s'est présentée pour l'architecte Alice Pamela de construire sa maison familiale, le choix du bois a sonné comme une évidence pour créer un lieu de vie sain et naturel. Chaleureux et ouvert sur le paysage, le résultat de son travail dépasse le simple enjeu du confort, à la fois par la grande singularité architecturale de ses volumes habillés de bois brûlé (Koad Du signifie bois noir en breton) et du point de vue environnemental, puisque la maison est certifiée passive et qu'elle se distingue par un large recours aux ressources locales.

> Une structure mariant bois, liège et ouate de cellulose

Reposant sur une dalle béton, la maison est construite presque intégralement en panneaux de bois lamellé croisé, qui forment à la fois les parois verticales et horizontales, ainsi que la charpente. Des poteaux et poutres en bois lamellé viennent le compléter pour gérer les porte-à-faux et soutenir les baies vitrées. Les murs de la maison sont réalisés à partir de panneaux de bois lamellé croisé cloués, ce qui a permis d'utiliser une essence cultivée localement, l'épicéa de Sitka. Il est doublé d'une ossature en poutres en I abritant une isolation en ouate de cellulose. La dalle est, elle, isolée avec du liège expansé, qui couvre les soubassements sur une profondeur de 50 cm. On retrouve également le liège sous forme de résilient acoustique posé sous les lambourdes du plancher intermédiaire, l'isolation entre lambourdes étant assurée par des panneaux de fibre de chanvre de 5 cm d'épaisseur.

> Une démarche constructive qui privilégie les ressources locales

Chaque fois que cela était possible, les ressources locales ont été privilégiées : c'est le cas pour le bois, avec les panneaux de bois lamellé croisé formant les murs, le pin maritime brûlé du bardage et le chêne des parquets, tous issus de forêts bretonnes ou landaises et représentant plus de 60% du volume de bois utilisé. Il en est de même pour la ouate de cellulose et la laine de chanvre, produites en Bretagne, et pour les peintures, réalisées près de Rennes à partir d'algues récoltées sur les côtes bretonnes. ■

Conception

Conjuguer ambition environnementale et expression architecturale : construire une maison passive avec des matériaux biosourcés n'est pas incompatible avec une grande liberté architecturale et la maison Koad Du en est le parfait exemple. Géométries, cadres, pliures, décalage des volumes et jeu de contrastes illustrant la dualité dedans-dehors du projet lui confèrent une personnalité affirmée. La maison s'affranchit des codes traditionnels locaux pour les réinterpréter dans une logique durable, à l'image du bardage en bois brûlé qui permet d'oublier l'ardoise, désormais importée, tout en rappelant les bois goudronnés des cabanes des pêcheurs. Ouvrant généreusement les espaces sur l'extérieur, tout en les protégeant du soleil d'été par de profondes casquettes, ce travail architectural se met au service d'un mode de vie tourné vers la nature, illustré par exemple avec la récupération des eaux de pluie alimentant une serre de pleine terre dans le prolongement de la cuisine. Elle n'en oublie pas pour autant le bien-être de ses habitants, à travers un intérieur en bois chaleureux et facile à vivre, dont la modularité s'adaptera facilement à des besoins futurs (par exemple en permettant la transformation aisée du dortoir des enfants en 2 chambres d'ados).

Confort

La ouate de cellulose en isolation possède un pouvoir isolant comparable à celui des laines minérales tout en offrant, à épaisseur identique, un déphasage thermique beaucoup plus long qui permet à la température intérieure d'être moins sensible aux variations de la température extérieure. En hiver, la chaleur reste plus longtemps dans la maison et en été, la fraîcheur interne est

conservée durant une dizaine d'heures. La ouate de cellulose possède également des propriétés hygroscopiques : un peu comme une éponge, elle absorbe l'humidité en excès et la restitue lorsque l'atmosphère est trop sèche. Cette régulation naturelle limite la condensation et ses effets négatifs et contribue à maintenir un taux d'humidité confortable (entre 40 et 60%). La masse de la ouate permet aussi, conjuguée à la masse du bois lamellé croisé et aux parois à triple vitrage, d'obtenir une maison très bien isolée des bruits voisins.

Technique

Une enveloppe performante pour répondre aux standards passifs. Les exigences énergétiques imposent d'apporter un soin particulier à la qualité de l'enveloppe afin d'éviter les ponts thermiques et d'assurer une forte étanchéité à l'air :

- Des panneaux bois lamellé croisé ép. 115 mm, cloués, accompagnés d'un pare-vapeur continu scrupuleusement scotché à chaque jonction.
- Une ossature verticale en poutres en I, qui accueille une isolation renforcée de 30 cm de ouate de cellulose, fermée par un pare-pluie. Grâce à la finesse de leur âme, les poutres en I présentent de très faibles déperditions linéiques et participent activement à la réduction des ponts thermiques.
- 3 tasseautages successifs permettant d'assurer une bonne efficacité de ventilation : un premier tasseautage horizontal qui maintient en place l'isolation et le pare-pluie, un second vertical pour la ventilation et un troisième horizontal, qui sert de support au bardage en bois brûlé pour les parties exposées aux intempéries et en douglas naturel pour les parties protégées.

Notes de mise en œuvre

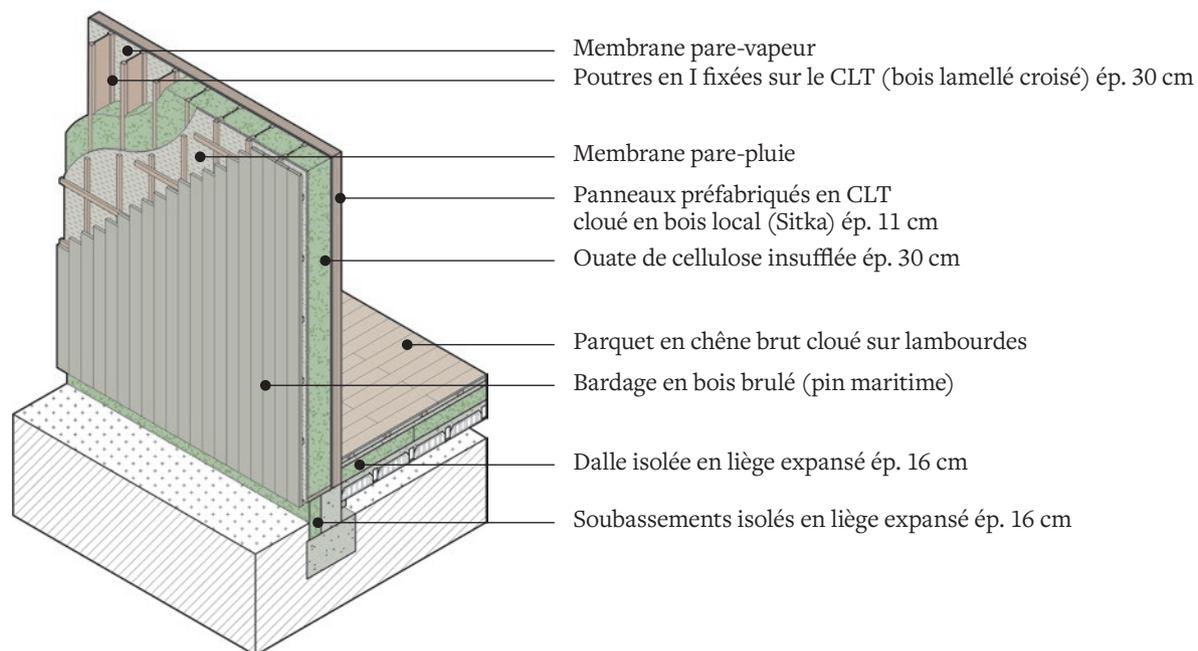
Le liège : imputrescible, perspirant et très performant sur le plan thermique, le liège est réputé pour ses qualités d'isolation acoustique. Mis en œuvre dans la maison sous sa forme expansée (aggloméré de manière naturelle par la résine du liège) pour l'isolation de la dalle (ép. 16 cm et soubassements ép. 10 cm), il est aussi présent dans l'isolation du plancher intermédiaire : dans les pièces de l'étage aménagées sur plenum comme par exemple les sanitaires, une bande de liège de 5 mm est posée sous les lambourdes pour éviter la répercussion au rez-de-chaussée des bruits aériens et d'impact. En revanche, une plus grande épaisseur est recommandée pour absorber complètement les bruits d'impact quand les pièces ne bénéficient pas du complément d'amortissement que procure un plenum.

RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES

- CLT (bois lamellé croisé) :
Sous Avis Technique
- Ossature rapportée en poutres en I :
Guide de conception des parois verticales en poutres en I à base de bois
- Ouate de cellulose insufflée dans l'ossature : Sous Avis Technique
- Bardage en bois brûlé :
Hors référentiel
- Dalles et soubassements isolés en liège expansé : Hors référentiel



Plan de coupe de la façade





Témoignages

Architecte

« La maison a fait partie de mes premiers chantiers bois. Mettre en œuvre une manière de construire inscrite dans une logique de développement durable a vraiment donné un nouveau sens à mon métier d'architecte. Aujourd'hui tous les projets sur lesquels je travaille sont biosourcés.

La gestion de ce type de projet est assez différente, avec un travail en amont plus long et plus précis, et un sens du détail sur lequel les entreprises m'ont beaucoup accompagnée lors de la construction de la maison. Cette phase de conception plus longue est compensée par la rapidité de montage de la structure bois : pour notre maison par exemple, le montage du CLT (bois lamellé croisé) s'est effectué en à peine 4 jours et au total, la maison a été hors d'eau hors d'air en un mois.

À l'exception de l'écoulement des eaux sur le toit plat qui a été un peu plus compliqué que prévu (mais finalement résolu en quelques jours par l'engravure de l'isolant afin de recréer une pente pour les chéneaux), le chantier a été parfaitement maîtrisé, y compris sur le plan budgétaire. Nous avons fait des choix, notamment ceux du triple vitrage et des casquettes, qui dès le départ ont enchéri le budget global d'environ 50K€, mais ensuite le budget a été totalement respecté. La hausse actuelle des prix de l'énergie confirme que la décision d'investir en amont dans la construction plutôt qu'en aval dans son coût de fonctionnement s'avère réellement judicieux. »

Alice Pamela > Architecte

Maître d'ouvrage

« Cela va bientôt faire deux ans que nous avons emménagé avec nos trois enfants et nous sommes tous emballés par la maison : il y a quelque chose dans le bois, son odeur, sa douceur au toucher, qui la rend vraiment agréable et chaleureuse.

On vit dans un air sain, avec la bonne hygrométrie et on l'a tous ressenti sur le plan de la santé : finies les infections ORL et on a découvert une vraie qualité de sommeil, confirmée par tous ceux qui viennent dormir à la maison !

Ensuite les grandes ouvertures sont vraiment agréables à vivre, on profite en permanence de l'extérieur et on peut voir vivre la nature depuis n'importe quel endroit de la maison. Nous sommes aussi très satisfaits de l'isolation thermique : en période de forte chaleur la maison n'a jamais dépassé les 25°C et sur la totalité des deux hivers, il n'y a que 8 jours où nous avons utilisé le petit chauffage d'appoint, et seulement pendant 4h à chaque fois. Enfin, on peut s'en donner à cœur joie sur le bricolage, car avec le CLT (bois lamellé croisé) plus besoin de chevilles ! »

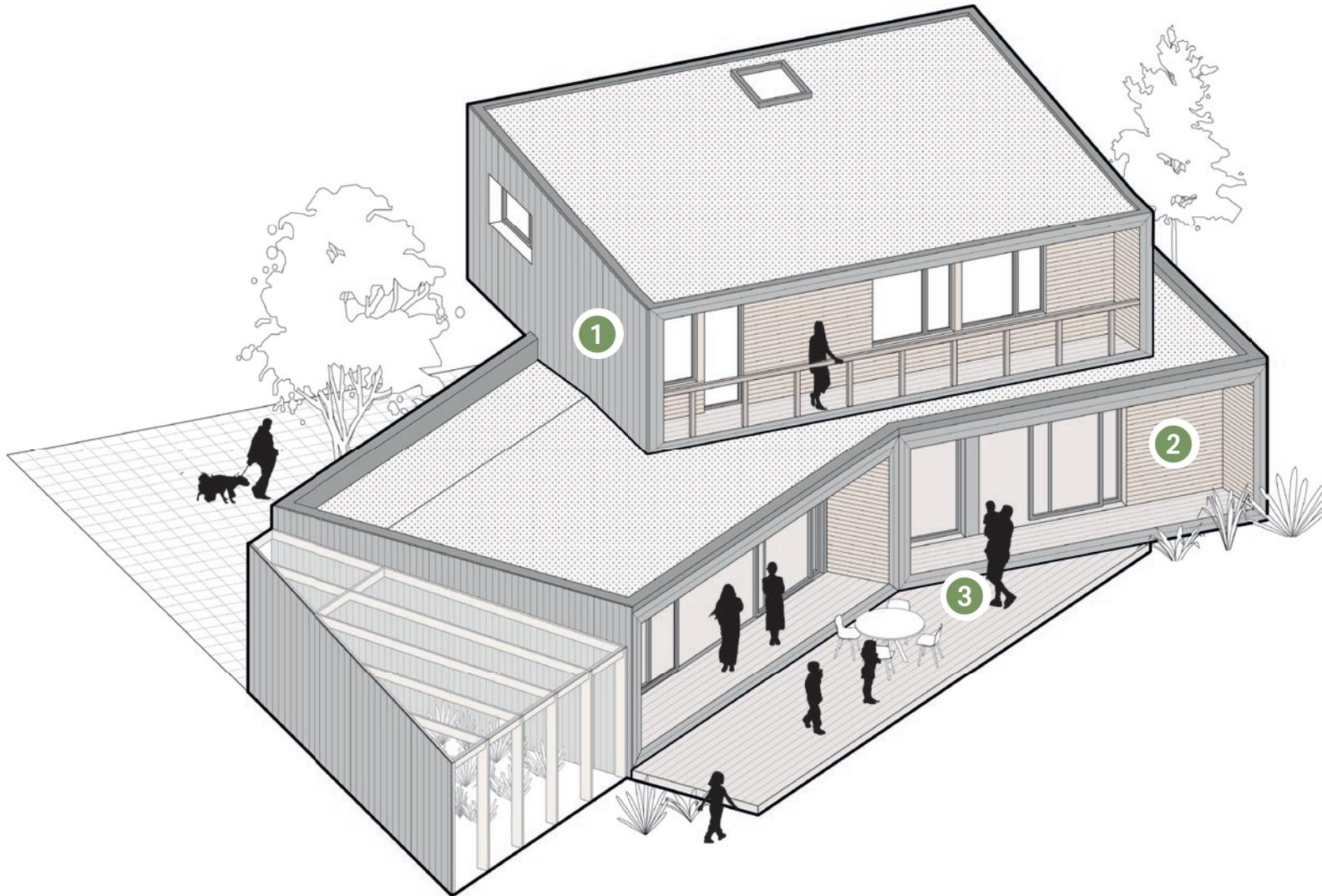
Alice & Adrien Pamela > Propriétaires de la maison

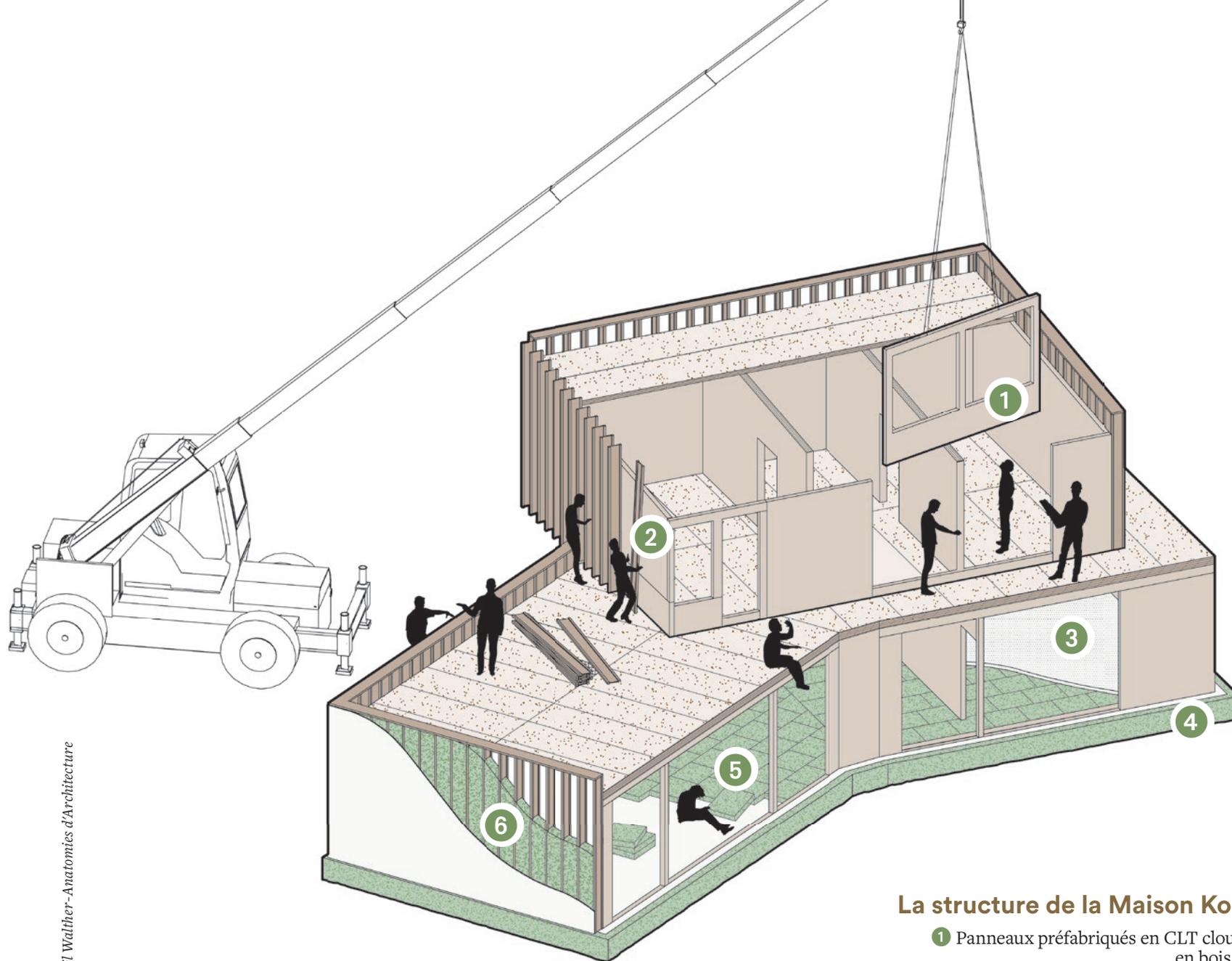
04





- ① Bardage en bois brûlé (pin maritime)
- ② Bardage douglas non traité
- ③ Platelage en chêne brut





La structure de la Maison Koad Du en détail

- ① Panneaux préfabriqués en CLT cloué (bois lamellé croisé) en bois local (Sitka) ép. 11 cm
- ② Poutres en I ép. 30 cm
- ③ Chape béton ép. 6 cm
- ④ Soubassements isolés en liège expansé ép. 10 cm
- ⑤ Dalle isolée en liège expansé ép. 10 cm
- ⑥ Remplissage entre poutres en I en ouate de cellulose ép. 30 cm





bois



fibre
de bois



béton



chanvre

- Plancher bas : chape et plancher chauffant sur dalle béton, isolation verre cellulaire
- Plancher intermédiaire : solivage bois, isolation béton de chanvre
- Murs à ossature bois, isolation fibre de bois
- Murs en béton cellulaire
- Charpente bois, isolation fibre de bois
- Cloisons en briques de chanvre
- Bardage bois

« Au-delà de la certification, c'est bien cette recherche de circularité qui nous a guidés, en favorisant des matériaux biosourcés et des filières locales, tout en intégrant la réflexion de la fin de vie du bâtiment avec des matériaux démontables, réutilisables ou upcyclables. »

Florent Demay

Architecte > HVR Architectes Associés

- Maître d'ouvrage : Ulteria
- Architecte : HVR Architectes Associés
- Localisation : Lieu-dit Les Champs Galottes, 89530 SAINT-BRIS LE VINEUX
- Livraison : 2021
- Surface : 4 200 m² SHAB
- Coût des travaux : 5,2 M€ HT (1 238€/m²)
- Assistance maîtrise d'ouvrage : Upcyclea
- BET tous corps d'état : 3IA Ingénierie
- Paysagiste : Benjamin Mesnager
- Entreprises : Eurovia (VRD), Gebat (gros œuvre), Eurotech (dallage), Vaucouleur (construction bois, couverture zinc), BCCO (béton cellulaire), Davulian (couverture membrane), Manuregion (portes industrielles), Denis Masson (RIA, chauffage, ventilation, plomberie), Varennes Menuiserie Ébénisterie (menuiseries)

Usine Mobilwood

Une usine de travail du bois certifiée Cradle to Cradle

05

> Un écosystème vertueux

La construction de l'usine Mobilwood dans l'Yonne s'inscrit dans un projet global qui vise à créer en territoire rural un écosystème vertueux et innovant en alliant entrepreneuriat, écologie, agriculture et citoyenneté. Il réunira à terme autour de l'usine une école, un centre de formation, une ferme bio et une maison citoyenne. Lauréate de l'appel à projet « Bâtiment démonstrateur » du Fond Européen de Développement Régional Bourgogne Franche-Comté et du Prix de la Construction Bois régional 2021, l'usine Mobilwood, spécialisée dans l'agencement d'espaces en bois, a inscrit dès son cahier des charges la volonté de certification Cradle to Cradle⁽¹⁾.

> Le premier bâtiment industriel au monde référencé C2C Inspired®

Certification internationale reconnue en matière d'économie circulaire, la démarche Cradle to Cradle s'appuie sur une éco-conception où tous les composants doivent être recyclables et chimiquement inoffensifs. Dans le cas de l'usine Mobilwood, la provenance, la composition, les possibilités de recyclage ont été étudiées pour chaque matériau, certains comme le PVC étant proscrits (remplacé par du polyéthylène haute densité) et d'autres fortement déconseillés, comme les produits issus de la pétrochimie.

(1) Littéralement : du berceau au berceau.

> Priorité aux matériaux

biosourcés et aux ressources locales

Le bois et les matériaux biosourcés ont donc été logiquement privilégiés, de même que les ressources locales. Le douglas utilisé en structure provient des forêts du Morvan et un béton mis en oeuvre par un fabricant situé à 200 m du site.

> Des structures constructives différenciées selon chaque zone fonctionnelle

L'usine comporte 3 parties s'appuyant chacune sur une structure constructive adaptée :

- Les ateliers de travail du bois reposent sur une structure mixte. La charpente est en bois lamellé et les murs en béton cellulaire, qui assure une résistance au feu de 2 h répondant au classement ICPE.
- La partie stockage/expédition, dont la fonction de protection aux intempéries obéit à des exigences réglementations différentes, est construite avec une structure et une charpente en bois massif.
- Les bureaux et espaces communs reposent sur une structure et une charpente en bois massif, accompagnées de murs à ossature bois. Les murs et plafonds sont isolés en fibre de bois (voir Focus Technique), les dalles et soubassements en verre cellulaire. Les cloisonnements sont réalisés en briques de chanvre ép. 100 mm qui renforce l'inertie du bâtiment. Le plancher intermédiaire est constitué d'un solivage en bois rempli avec du béton de chanvre sur 320 mm.

Conception

La démarche d'éco-conception de l'usine
Parmi les plus exigeantes au monde sur le plan environnemental, la certification Cradle to Cradle constitue une démarche d'éco-conception globale. Elle a porté sur tous les aspects de la vie de l'usine : la qualité de l'air et de l'eau, le recyclage des matières organiques, l'utilisation de matériaux sains et upcyclables, la biodiversité et le paysage, la mobilité au sein de l'ouvrage et dans ses accès, la flexibilité de l'ouvrage et la qualité de vie et la productivité au sein de l'usine. Cette démarche s'est accompagnée d'une recherche d'autonomie à deux niveaux :

- En matière énergétique, où elle passe d'abord par une isolation exemplaire des bâtiments, puis par la mise en place de panneaux solaires et d'une chaufferie bois alimentée à 100% par les déchets de production, l'ensemble assurant l'autonomie en chauffage et en énergie électrique.
- Dans la gestion des eaux pluviales, avec l'installation de cuves de récupération alimentant les sanitaires, les besoins en eau du process industriel et l'arrosage des jardins (le surplus constituant une réserve d'eau incendie). Un circuit de noues et de bassins favorise l'infiltration et les eaux grises sont traitées par un jardin en phyto-épuration.

Confort

L'apport de la fibre de bois en isolation
Fabriquée à partir du défibrage de chutes de bois, la fibre de bois est un isolant naturel doté d'une très forte densité. En matière de confort, cette densité garantit une bonne gestion de l'humidité et une performance à

la fois acoustique et thermique, avec un réel apport sur le confort d'été grâce à un temps de déphasage élevé.

Technique

La mise en œuvre de la fibre de bois
Utilisée pour l'isolation des murs et de la toiture des espaces communs et des bureaux, la fibre de bois a été mise en œuvre sous forme rigide et semi-rigide :

- Les murs comprennent 160 mm de fibre de bois semi-rigide entre montants de l'ossature bois + 45 mm côté intérieur et 60 mm de fibre de bois rigide avec pare-pluie côté extérieur.
- En toiture, chevrons et contre-chevrons de la charpente accueillent respectivement 290 mm de fibre de bois semi-rigide et 100 mm, avec un doublage intérieur en panneaux de fibre de bois rigide ép. 25 mm.

L'isolation acoustique des ateliers

Le maître d'ouvrage a fait le choix de concevoir l'usine autour d'un grand volume central flexible qui facilite la perméabilité des flux et les échanges mais nécessite de prendre en compte avec plus d'acuité la contrainte du bruit, dans un contexte où le travail du bois

engendre un nombre élevé de décibels. En plus d'équiper les machines de silencieux et de doubler les plafonds par un complexe de bac acier acoustique avec absorbeur, les équipes de Mobilwood ont développé des systèmes de panneaux mobiles de 3 m de hauteur qui encapsulent 200 mm de fibre de bois entre deux plaques de contreplaqué usiné. Décoratifs et très efficaces pour absorber la réverbération des sons directs, ils permettent aussi de moduler l'espace en fonction des besoins (et à l'équipe expédition, qui a été rapprochée des ateliers, de continuer à travailler en musique !).

Notes de mise en œuvre

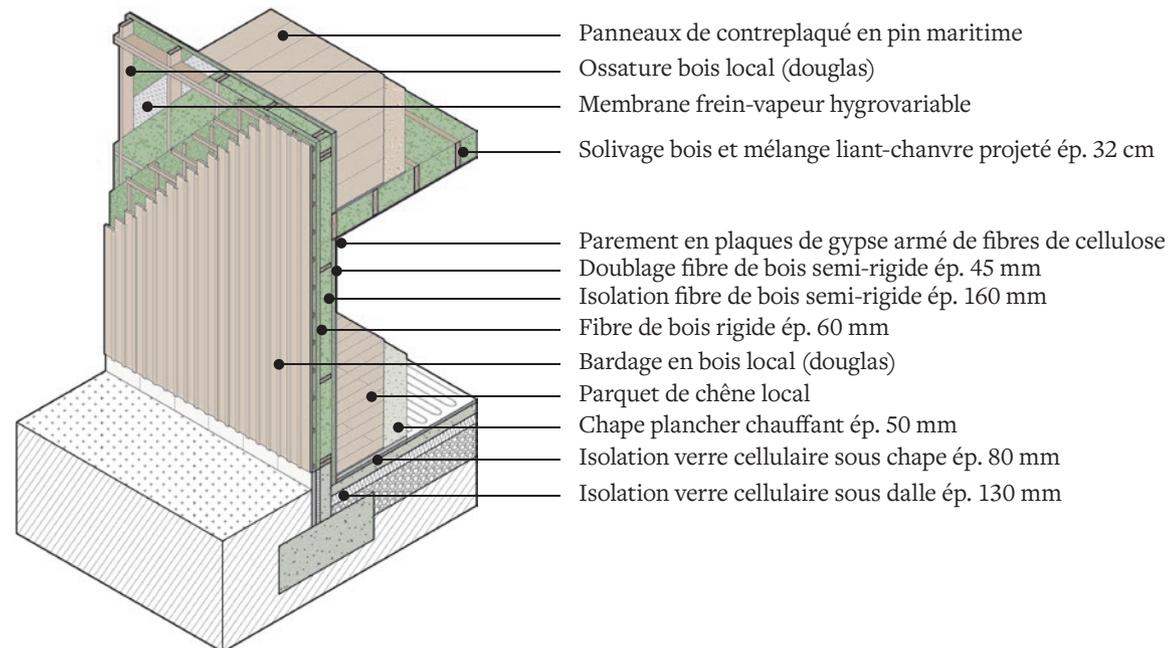
Le confort d'été des locaux industriels avec un système adiabatique : les solutions de climatisation classiques sont souvent très énergivores et moins efficaces dans un contexte de locaux industriels. Pour garantir un bon confort d'été, l'usine Mobilwood a adopté un système de refroidissement adiabatique. N'utilisant ni produit chimique ni gaz frigorigène, ce système, consistant à aspirer l'air chaud et à le faire passer dans un échangeur humide avant de le redistribuer, est plus sain, plus écologique et consomme peu d'électricité.

RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES

- Plancher isolé en béton de chanvre : Règles professionnelles
- Ossature bois : NF DTU 31.2
- Membrane frein vapeur hygrovariable : Sous Avis Technique
- Solivages bois : NF DTU 31.1
- Liant-chanvre projeté : Règles professionnelles
- Panneau de plaque de gypse armé de fibres : NF DTU 31.2
- Doublage et isolation fibre de bois semi-rigide : Sous Avis Technique
- Fibre de bois rigide : NF DTU 31.2
- Bardage bois : NF DTU 41.2
- Parquet collé sur sol chauffant : NF DTU 51.2



Plan de coupe de la façade





Les panneaux acoustiques et décoratifs mobiles, développés par Mobilwood.

Témoignages

Maître d'ouvrage

« Ce que nous avons particulièrement apprécié dans la certification Cradle to Cradle c'est qu'elle place les besoins utilisateurs au centre de la démarche dès la conception de l'ouvrage et qu'elle met tout le monde sur un pied d'égalité.

Qu'il s'agisse des besoins fondamentaux comme la présence de lumière naturelle ou la qualité de l'air, ou des besoins propres à l'activité, la démarche incite à se poser les bonnes questions, et évidemment à mettre en place les actions pour y répondre. Le plan, que nous avons voulu flexible, ouvert et centré dès l'entrée sur des espaces communs au service de tous, mais aussi le choix des systèmes constructifs et des matériaux biosourcés, font bien sûr partie de ces réponses.

Le classement ICPE des ateliers a représenté un frein à l'utilisation de matériaux biosourcés dans cette partie du bâtiment, avec des aspects que nous aurions voulu gérer autrement, notamment au niveau des murs et de la couverture. D'ailleurs si nous devions le refaire aujourd'hui, nous pourrions envisager une isolation des ateliers en paille, qui, depuis, a obtenu un classement coupe-feu 2 heures.

Nous sommes néanmoins tous très satisfaits de ce nouveau cadre de travail. Il est chaleureux, ouvert sur la nature et nous donne une vraie crédibilité auprès de nos clients, qui sont toujours très agréablement surpris par le lieu quand ils le découvrent. »

Fantin Moreau > Responsable immobilier au sein du maître d'ouvrage Ulteria

Architecte

«L'architecture traduit l'expression des besoins et des ambitions environnementales. Avec la volonté permanente d'utiliser le bon matériau au bon endroit, chaque choix de conception a été questionné afin de tendre vers un outil de travail optimisé et qui permette d'évoluer avec le process et les changements organisationnels. Les volumes sont adaptés à chaque fonction, avec chacun leur identité, leur mode de conception et leur technologie.

Le chantier a duré un an et demi, confinement compris, et s'est appuyé sur des entreprises à 80% locales. Partant du principe qu'elles sont également «sachantes» et que leurs expériences et savoir-faire sont précieux pour l'évolution positive du projet, le chantier a misé sur l'intelligence collective pour une maîtrise commune des enjeux, qu'ils soient fonctionnels, techniques, énergétiques ou environnementaux.

En phase conception comme en phase chantier, nous avons pris le temps d'optimiser le projet à chaque étape, ce qui est très satisfaisant du point de vue de la maîtrise d'œuvre. Les entreprises ont été forcées de proposition et le chantier s'est déroulé dans un réel climat de confiance. »

Florent Demay > Architecte, HVR Architectes Associés

Utilisateur

« Les équipes de Mobilwood ont été impliquées en amont dans l'aménagement des locaux. Au niveau des bureaux par exemple, nous avons pu choisir l'organisation qui nous convenait : chaque service est réparti dans un espace non cloisonné qui s'organise autour d'une travée centrale regroupant les espaces fonctionnels comme la reprographie ou les salles de réunion. Tout le monde s'est bien approprié le lieu et nous continuons de le faire évoluer. Cette année, une réflexion commune sur les nouveaux aménagements des espaces extérieurs est en cours.

C'est un endroit très agréable pour travailler : il est lumineux et la présence du bois lui donne un côté très apaisant. Les bureaux sont proches physiquement de l'atelier, mais on n'entend pas du tout les machines. L'hiver la chaleur est très homogène et l'été, en ouvrant le soir et en refermant le matin quand on arrive, on garde une température plaisante même quand il fait chaud. Quand ils viennent nous voir pour la première fois, les clients ou les personnes qui postulent nous disent souvent que le lieu donne vraiment envie de travailler ici.

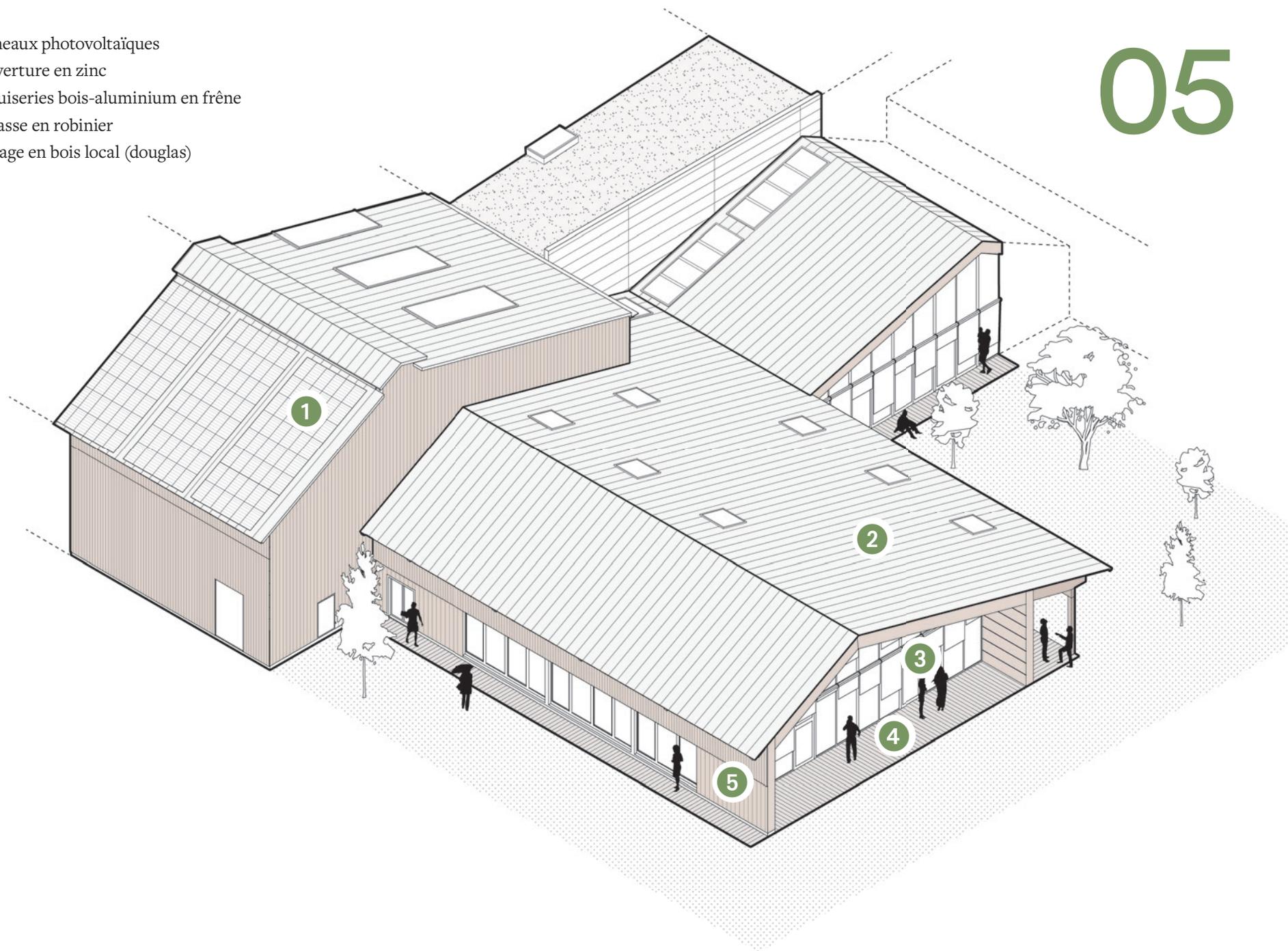
Un autre aspect très agréable de ces nouveaux locaux c'est leur capacité à créer du lien, grâce à une organisation des flux qui convergent vers les espaces communs : depuis qu'on est ici on échange plus entre services, le travail est plus convivial. »

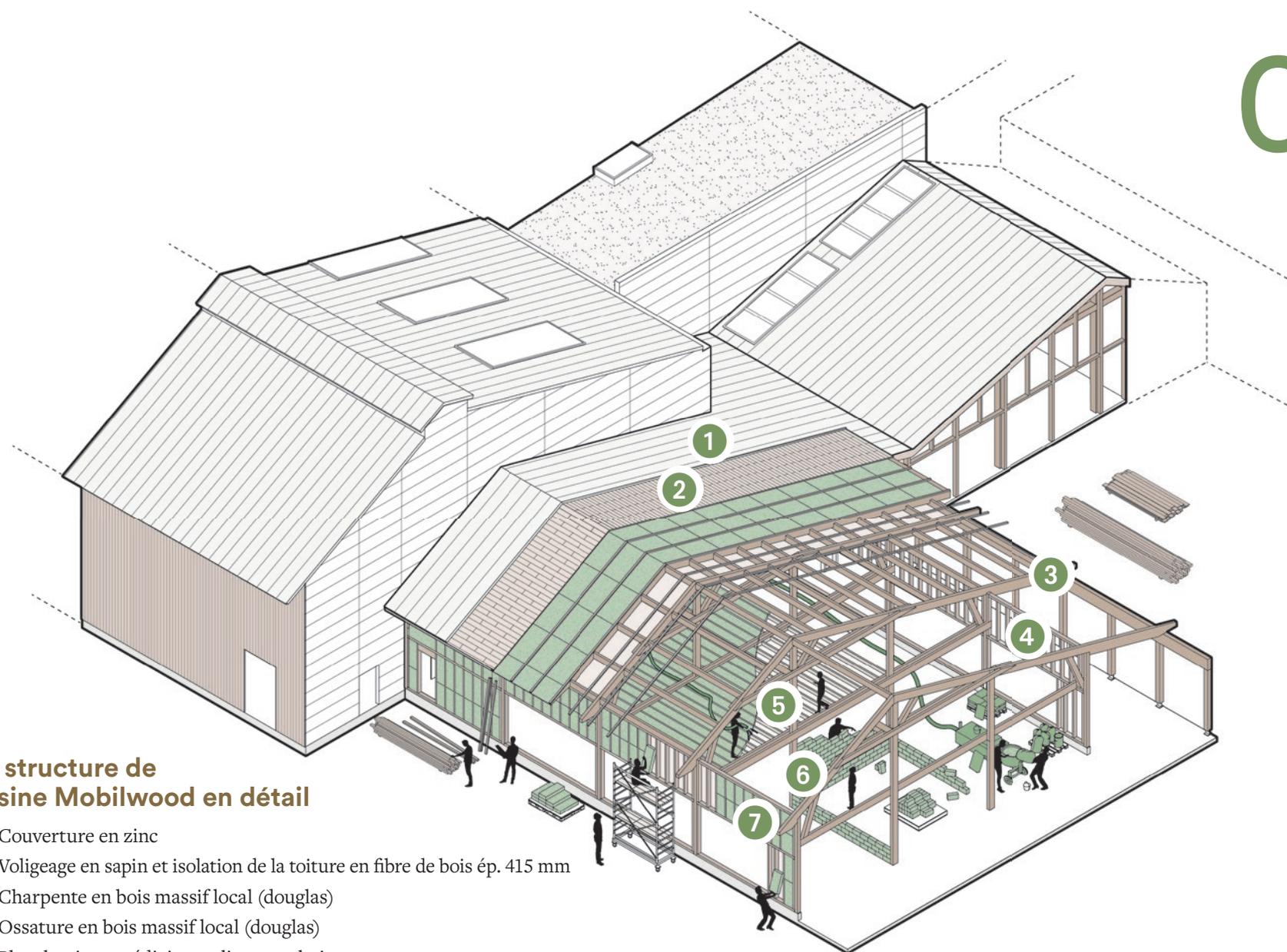
Gwendoline Martin > Chargée d'affaire-technicienne au bureau d'étude Mobilwood



- ① Panneaux photovoltaïques
- ② Couverture en zinc
- ③ Menuiseries bois-aluminium en frêne
- ④ Terrasse en robinier
- ⑤ Bardage en bois local (douglas)

05





La structure de l'usine Mobilwood en détail

- ① Couverture en zinc
- ② Voligeage en sapin et isolation de la toiture en fibre de bois ép. 415 mm
- ③ Charpente en bois massif local (douglas)
- ④ Ossature en bois massif local (douglas)
- ⑤ Plancher intermédiaire : solivage en bois et remplissage en mélange liant-chanvre projeté ép. 30 cm
- ⑥ Cloisons en briques de chanvre ép. 10 cm
- ⑦ Isolation périphérique en fibre de bois ép. 265 mm





- Construction mixte béton, bois et béton de chanvre
- Structure primaire en béton
- Structure secondaire en bois
- Isolation en béton de chanvre

« Nous souhaitons offrir des logements confortables dotés de belles qualités spatiales. C'est pourquoi, en plus d'une organisation soucieuse de qualités d'usages, s'est très vite imposé le recours au béton de chanvre, matériau de construction confortable, sain et durable. »

Christine Désert & Richard Thomas
Architectes > Agence North By Northwest

- Maître d'ouvrage : Immobilière 3F
- Architecte : North By Northwest Architectes
- Localisation :
81 rue de Bellevue, 92100 BOULOGNE-BILLANCOURT
- Livraison : 2020
- Surface : 747 m² SHAB
- Coût des travaux : 1,59 M€ HT (2 133 €/ m²)
- BET Structure : LM Ingénieur
- Entreprise clos couvert : JR Bat

Résidence de logements sociaux

06

À Boulogne-Billancourt, la première résidence R+8 en béton de chanvre

> Un projet dans un contexte urbain très contraint

Une parcelle exiguë (245 m²), une emprise constructible restreinte (122 m²) avec néanmoins une hauteur possible de R+8 : le projet de cette résidence de logements sociaux dans un quartier dynamique de Boulogne-Billancourt constituait une équation difficile. Ses architectes l'ont résolue avec une intelligence constructive qui a permis la création de 15 logements T1 à T5 tout en limitant au maximum les nuisances pour le voisinage.

> Une structure alliant facilité de mise en œuvre et confort pour les résidents

Sur une parcelle étroite entre deux pignons hauts, l'enjeu pour ce R+8 a été de trouver un mode de construction et une organisation du chantier efficaces dans l'espace et dans le temps. Le choix des architectes s'est porté sur une construction mixte, avec une structure primaire en béton et une structure secondaire pour les façades en ossature bois (épicéa), qui abrite une isolation en chanvre projeté. Cette dernière permet d'offrir aux résidents les qualités de régulation hygrothermique spécifiques au chanvre.

> R+8, une hauteur inédite pour le béton de chanvre

Limité aux constructions jusqu'à R+2 (Règles Professionnelles 2012), le béton de chanvre atteint ici une hauteur inédite puisque la résidence s'élève à 25 m de hauteur. Si l'immeuble a reçu l'aval du bureau de contrôle, il le doit à la particularité de sa structure en ossature bois : tous les 2 étages, des lisses de 5 cm ont été intégrées en bout de dalle sur toute la longueur de la façade, permettant de la découper en 4 blocs. Elle forme ainsi une superposition de 4 R+2 aptes à être isolés en chanvre.

> Un plan conçu pour une organisation optimale

La hauteur R+8 impliquant la présence d'un ascenseur et de logements accessibles aux personnes à mobilité réduite, le projet s'articule autour d'un palier desservant deux logements par niveaux. Les cuisines de chaque appartement sont ouvertes sur les séjours afin de consacrer le linéaire des façades aux pièces principales, tout en dotant toutes les pièces de l'ensoleillement naturel maximal. Le dernier niveau, en retrait par rapport à l'alignement, est occupé par un T3 et un T5 duplex, tous deux traversants et profitant d'une terrasse à la vue dégagée. ■

Conception

Une écriture architecturale qui reconstitue un front de rue sobre et lisible

Encadrée par deux immeubles des années 70/80, la résidence opère leur suture par une écriture architecturale épurée. Son socle traité en briques pleines s'élève sur deux niveaux afin d'assurer la continuité visuelle avec les héberges voisines. Ponctué par les cadres et volets en bois, le corps principal du bâtiment est revêtu d'un enduit à la chaux qui dialogue avec la pierre calcaire très présente dans le paysage urbain boulonnais.

Confort

L'apport du chanvre en termes de confort

- Le chanvre régule l'humidité : lorsque l'air est humide dans l'espace intérieur, le chanvre absorbe la vapeur d'eau et à l'inverse, lorsque l'air est sec, il la restitue et apporte de la fraîcheur.
- En absorbant l'humidité, le chanvre dégage une énergie qui réduit l'écart de température entre le mur et l'air ambiant. En hiver, l'inconfort est donc minimisé et l'occupant a spontanément moins besoin d'augmenter le chauffage.

Technique

Les grandes étapes du chantier

- La structure primaire est constituée de pré-murs et de pré-dalles en béton.
- L'ossature bois est préfabriquée, de même que les tableaux de baie. Le complexe menuiserie est lui aussi assemblé en usine.
- L'ossature bois est fixée à la structure primaire. La grue n'est ensuite plus nécessaire sur le chantier.
- Le béton de chanvre est projeté sur une épaisseur de 22 cm sur un fond de coffrage en plaques de gypse armé (microporeuses, elles permettent le transfert d'humidité), puis revêtu d'un enduit à la chaux de 2 cm ou d'un parement brique pour les 2 premiers niveaux (parois à double peau avec parement brique à l'extérieur et ossature bois et laine de roche en isolation).

Une composition d'une épaisseur totale de 26 cm, 5 fois plus légère qu'un système voile de béton + ITE ou ITI.

Notes de mise en œuvre

- La densité du béton de chanvre est très inférieure à celle du béton armé. Les bétons de chanvre utilisés pour des murs ont une masse volumique d'environ 350 kg/m³.
- Le béton de chanvre peut être produit par voie humide ou sèche. Dans le premier cas, il est malaxé sur chantier puis mis en œuvre par banchage ou projection. Par voie sèche, il se présente sous forme de parpaings ou de panneaux.

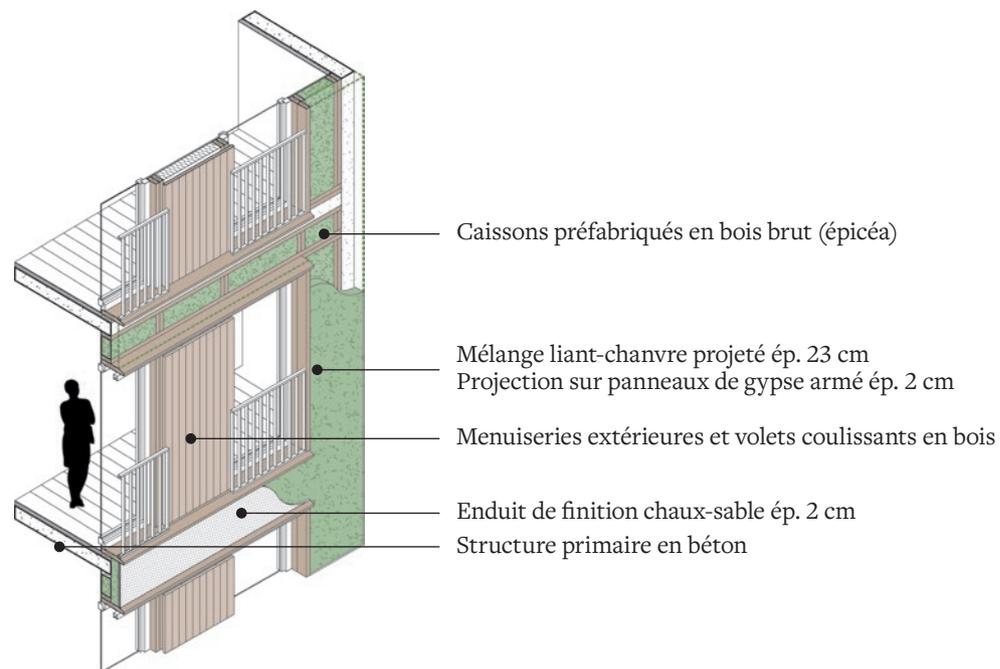
RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES

- Caisson préfabriqué - NF DTU 31.4
- Mélange Liant-chanvre - Règles professionnelles
- Menuiseries extérieures bois - NF DTU 36.5
- Volet extérieur bois - NF DTU 34.4

06



Plan de coupe de la façade





Témoignages

Maître d'ouvrage

« Nous sommes toujours désireux d'expérimenter de nouveaux modes constructifs pour développer le confort offert à nos locataires et construire de manière plus responsable. La visite d'un immeuble réalisé par les architectes du projet et l'expérience qu'ils avaient acquise du matériau chanvre nous ont convaincu de retenir cette solution pour la résidence de Boulogne-Billancourt.

Dans un contexte avec 2 murs pignons, la structure ossature bois + béton de chanvre a permis de réduire l'épaisseur des façades à 26 cm. Malgré une constructibilité restreinte, nous avons ainsi pu augmenter la SHAB de près de 20 m².

Ce choix de structure a aussi participé à l'économie globale du projet en allégeant le poste des fondations et sa facilité d'acheminement a constitué un plus au sein de l'espace public très dense du quartier. »

Adrien Biggi >

Responsable du projet pour Immobilière 3F

Architecte

« Cet immeuble s'inscrit dans notre philosophie de construire avec un minimum d'impact environnemental et d'offrir une qualité résidentielle s'appuyant sur des matériaux sains et naturels.

Nous n'avons rencontré aucun problème dans la mise en œuvre de la structure constructive, que ce soit au niveau de l'ossature bois ou du béton de chanvre. Comparée à une isolation classique, l'étanchéité à l'air des façades doit simplement être traitée différemment : en l'absence de pare-vapeur dans le complexe isolant, elle est assurée à l'extérieur par l'enduit.

Il faut donc veiller à ce qu'il n'y ait pas de rupture dans sa continuité, notamment au niveau des menuiseries, en utilisant des bandes de renfort spécifiques à ces endroits.

L'association ossature bois et béton de chanvre est un type de structure dont nous recommanderons certainement la mise en œuvre sur de prochains chantiers, car au-delà de ses qualités et de sa performance, nous pouvons encore l'optimiser en développant une plus grande part de préfabrication, ce qui présente un intérêt supplémentaire quand on intervient en cœur de ville. »

Christine Désert & Richard Thomas >
Architectes, agence North By Northwest

Utilisateur

« Nous avons emménagé au 6^e étage de la résidence en octobre 2021 et nous sommes très satisfaits de notre appartement, particulièrement de son confort thermique.

Auparavant nous habitions dans un appartement équipé d'un chauffage électrique qui nous coûtait très cher. Depuis que nous sommes ici, nous ne mettons le chauffage qu'un petit moment en rentrant du travail le soir et l'appartement garde la chaleur jusqu'au lendemain. C'est une vraie économie.

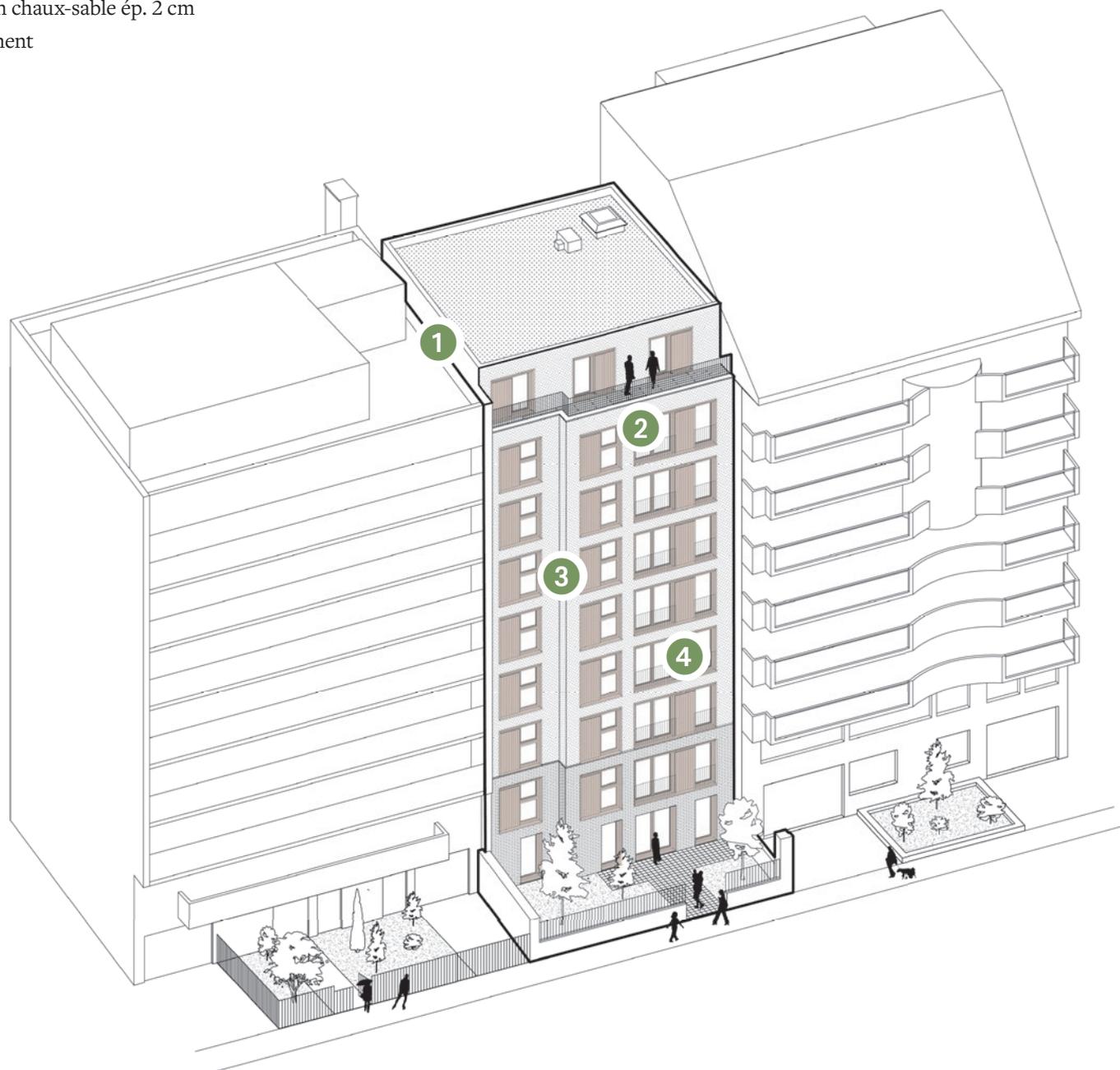
Au niveau sonore, on entend un tout petit peu le voisin d'à côté s'il met de la musique très fort mais on est bien isolé des bruits de la rue, on ne les entend pas du tout. L'appartement est vraiment très confortable, sur tous les points. »

Aïcha Tghmi >
Locataire de la résidence



- ① Structure primaire en béton
- ② Menuiseries extérieures en bois
- ③ Enduit de finition chaux-sable ép. 2 cm
- ④ Briques de parement

06





La structure de la résidence de logements sociaux en détail

- ① Structure primaire en béton
- ② Caissons préfabriqués en bois brut (épicéa)
- ③ Mélange liant-chanvre projeté ép. 23 cm





béton métal bois paille

- Structure en béton existante
- Poteaux & poutres en béton et métal
- Façades à ossature bois, isolation paille
- Bardage bois

« Pour limiter l'impact du secteur de la construction, il convient de revoir nos manières de construire en profitant des techniques qui permettent d'économiser l'énergie. Pour cette raison, nous avons proposé que le projet s'appuie sur un mode de construction rapide, appartenant à la filière sèche et écologique : des panneaux en bois préfabriqués avec une isolation biosourcée en paille. »

Sandra de Giorgio, Architecte, NZI

- **Maîtres d'ouvrage :** Paris Habitat & Crous
- **Architecte :** NZI
- **Localisation :**
28 rue du Colonel Pierre Avia, 75015 PARIS
- **Livraison :** 2021
- **Surface :** 3580 m² SDP
- **Coût des travaux :** 8,9 M€ HT, désamiantage inclus (2 486 €/ m²)
- **BET Structure :** EVP (structure), Wor (fluides), Moteec (économiste), Switch (HQE)
- **Entreprises clos couvert :** Bouygues Bâtiment Île-de-France Habitat Social (entreprise générale), Méha (murs à ossature bois), MCS (bardage bois), Lallemand Fermetures (volets bois)

Résidence Bertelotte

La transformation réussie de bureaux en logements étudiants

07

> Une métamorphose architecturale pensée dans une logique environnementale

L'Ordre National des Architectes l'a définie comme une priorité stratégique des prochaines années : la réhabilitation du patrimoine bâti existant constitue un levier majeur pour réduire l'impact environnemental des activités du BTP, diminuer la production de déchets et économiser les ressources. La transformation en résidence étudiante de cet immeuble de bureaux du XV^{ème} arrondissement de Paris en constitue une superbe démonstration. Menée avec la volonté de mettre en œuvre des ressources renouvelables, elle figure parmi les lauréats régionaux d'Île-de-France du Prix National de la Construction Bois 2021. Et elle est également en lice pour la finale des Prix UIA 2030 organisés par l'Union Internationale des Architectes en partenariat avec l'ONU-Habitat, qui récompensent les travaux contribuant à la réalisation de l'Agenda 2030 des Nations Unies pour le Développement Durable.

> Une réhabilitation lourde en deux grandes phases

Le chantier s'est déroulé en 2 temps, avec une première phase de démolition, désamiantage et curage de la structure existante, suivie d'une phase de construction des nouveaux aménagements. La démolition a concerné d'une part le cœur de l'immeuble existant, qui a été ouvert sur une trame et demie (créant ainsi 2 bâtiments reliés par des passerelles) afin d'offrir de la lumière naturelle à tous les futurs logements ; et le sous-sol d'autre part, qui a été excavé pour créer une cour à l'anglaise entourée d'espaces de vie en commun. La seconde phase de la réhabilitation a ensuite débuté. Les nouveaux aménagements s'appuient sur une structure de poteaux et poutres en béton et métal. Elle est fermée par des façades à ossature bois non porteuses avec isolation en paille locale, qui ont été préfabriquées en atelier. Elles sont bardées de mélèze côté rue et traitées en enduit blanc côté faille pour privilégier la réflexion de la lumière en cœur de bâtiment. La rénovation atteint un niveau de performance énergétique conforme aux objectifs du Plan climat de la Ville de Paris et a obtenu la certification Cerqual Patrimoine BBC Rénovation.

> La création de 139 logements et d'espaces extérieurs partagés

Si la surface de plancher globale de l'immeuble (4 400 m² à l'origine) a été un peu réduite pour satisfaire aux exigences du standard résidentiel, la restructuration a permis de créer 139 logements (134 studios de 18 à 20 m² et 5 T2 pour la colocation). Ils accueillent 146 étudiants qui peuvent profiter de nombreux espaces extérieurs partagés : outre le nouveau rez-de-jardin, des terrasses et jardins ont été aménagés sur les toits. Ouvertes à l'air libre et très spacieuses, les circulations constituent également des espaces de vie à chaque étage. ■

Conception

D'un immeuble de bureaux introverti à une résidence ouverte sur son environnement

Afin d'apporter au projet les qualités résidentielles attendues pour un immeuble de logements, plusieurs aménagements architecturaux ont été entrepris :

- Le centre de l'immeuble a été démoli pour ouvrir les vues et offrir un ensoleillement direct à tous les logements.
- Un retrait au dernier niveau du bâtiment côté rue limite l'effet de vis-à-vis.
- Le sous-sol inexploité a été valorisé en créant un véritable rez-de-jardin.
- Le projet étant voisin du parc Suzanne Lenglen, sa relation avec celui-ci a été renforcé par un jeu de percées visuelles et de façades.
- Cour, terrasses, jardin potager : de nombreux espaces communs extérieurs ont été aménagés pour favoriser le confort et la vie collective.

Confort

Pour le confort des riverains, une enveloppe bois-paille fabriquée à 70% en atelier

Outre ses qualités sanitaires et d'isolation pour le confort des futurs usagers du bâtiment, l'un des avantages du système bois-paille réside dans la possibilité de préfabrication complète des façades (ossature porteuse, isolation, menuiserie, panneau de finition intérieur et même bardage extérieur). Dans le cas de la résidence Bertelotte, les caissons bois ont été livrés avec leur isolation en paille et leurs panneaux de finition et ils ont été installés avec des engins de levage légers. Particulièrement adapté aux contextes urbains denses tels qu'à Paris, ce mode constructif

(qui peut être initié en parallèle des travaux de terrassement ou de démolition) réduit à la fois la durée des travaux et leurs nuisances pour les riverains : il est mis en œuvre en chantier sec, dont l'entretien et le nettoyage sont grandement facilités.

Technique

Les critères à respecter pour une isolation en paille de qualité

Compressée entre les montants des murs à ossature bois pour éviter tout glissement des bottes lors du cycle de vie du mur, la paille doit respecter certains critères afin d'assurer une performance thermique durable :

- Généralement compressée au sein de caissons en bois ép. 370 mm, elle doit posséder une masse volumique comprise entre 80 et 120 kg/m³.
- Son taux d'humidité doit être inférieur à 20 %.
- Pour chaque lot de paille utilisé, des contrôles du taux d'humidité et de la masse volumique doivent être régulièrement effectués, par exemple sur chacune des 10 premières bottes, puis toutes les 20 bottes de chaque lot.
- Une fois remplis, les caissons peuvent être fermés : côté intérieur par des panneaux certifiés CTBH (Centre Technique du Bois classement H ou panneaux en aggloméré de particules en bois hydrofugé) recouvert d'un pare-vapeur afin de protéger le mur de l'humidité ambiante (comme c'est le cas de la résidence Bertelotte), ou par des plaques de plâtre ou de gypse qui laissent respirer le mur. Côté extérieur, ils peuvent être clos par des panneaux OSB protégés d'un pare-

pluie ou par des panneaux de fibre de bois. Le bardage doit ensuite être posé après lame d'air afin d'assurer la bonne ventilation du mur.

Notes de mise en œuvre

La pose des caissons bois-paille sur une structure béton existante

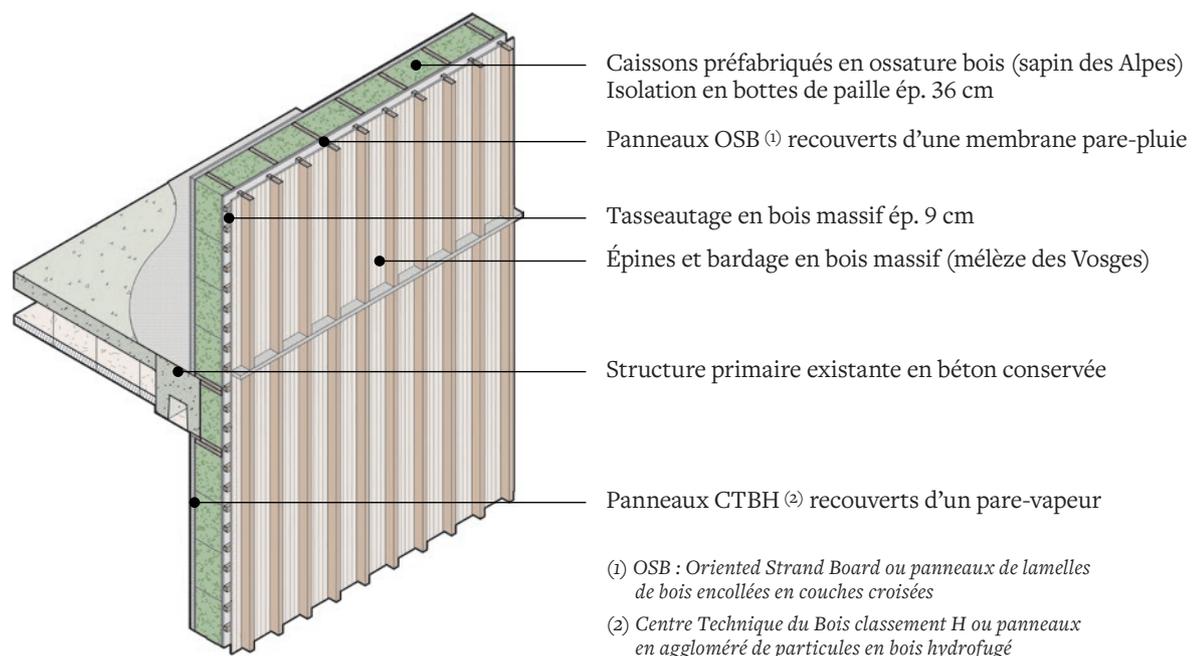
Les caissons bois-paille ont été installés en façade sur la structure béton préalablement curée de la résidence Bertelotte en posant d'abord des poutres de lisse. L'engin de levage a ensuite déposé les caissons, qui ont été fixés avec des barres TPS, puis maintenus avec des équerres.

RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES

- Bardage bois : NF DTU 41.2
- Façades Ossature Bois : NF DTU 31.2
- Isolation en bottes de paille : Règles professionnelles



Plan de coupe de la façade





Témoignages

Maître d'ouvrage

« Recycler un immeuble, sans le détruire pour tout reconstruire : à l'heure où les contraintes foncières s'affirment, où le parc de bureaux obsolètes s'accroît et surtout, alors que le soutien à une vision neutre en carbone s'impose, la résidence Bertelotte témoigne de la pertinence d'une stratégie de réversibilité.

Recourir aux matériaux biosourcés, favoriser les filières sèches : nous avons souhaité promouvoir ces solutions innovantes et respectueuses de l'environnement. Elles ont complètement répondu à nos attentes, entre autres grâce à la préfabrication en atelier de toutes les façades, qui a permis de limiter considérablement les nuisances du chantier pour les riverains.

La paille utilisée vient d'Île-de-France. Favorisant les circuits courts, son utilisation permet le développement d'une filière écologique et une bonne isolation avec un matériau naturel et performant. La résidence étudiante Bertelotte est donc pour nous une référence innovante en matière d'isolation à haute performance thermique. »

Bruno Colin >

Chef de service maîtrise d'ouvrage, Paris Habitat

Architecte

« Quand on construit un bâtiment maintenant, on ne peut plus penser qu'il aura un seul usage pour toute sa durée de vie, il faut intégrer sa réversibilité et sa réhabilitation potentielles. Raisonner en cycle de vie, c'est notre manière de fonctionner et si on doit transformer la résidence dans 30 ans, on sait qu'avec des matériaux comme la paille on trouvera un bâtiment « propre ».

Nous avons une première expérience réussie de logements sociaux isolés en paille, c'est pourquoi nous l'avons proposée pour la résidence Bertelotte. Le chantier a duré 26 mois et s'est bien déroulé. Que ce soit du côté du maître d'ouvrage ou des entreprises, nous avons été entourés d'équipes très volontaristes qui nous ont permis de mener le projet à bien en conservant le postulat de départ d'une isolation biosourcée en paille.

Le dernier plancher s'élevant à 9 m (versus 8 m dans le cadre des règles professionnelles et avis techniques existants concernant la sécurité incendie), nous avons essayé de monter un ATEX en parallèle de la phase démolition mais nous avons dû renoncer faute de temps. Le bâtiment a donc finalement fait l'objet d'un avis de chantier du bureau de contrôle. Mon principal regret est de n'avoir pas pu laisser la paille jouer son rôle perspirant : pour des raisons économiques les caissons paille sont doublés avec un panneau de particules hydrofugé certifié CTB-H à l'intérieur et de l'OSB à l'extérieur, qui requièrent l'usage de pare-vapeur et de pare-pluie. »

Sandra de Giorgio > Architecte, NZI

Utilisateur

« J'ai eu la chance de faire partie des premiers étudiants qui ont pu vivre dans cette résidence toute neuve et j'ai vraiment apprécié mon année ici. Elle est très bien conçue et j'ai beaucoup aimé à la fois mon studio et les espaces communs, comme les salles de travail qui créent un environnement motivant et le jardin sur le toit pour se détendre et échanger.

Sur le plan du confort, j'ai été très impressionnée par le confort thermique. Je n'avais jamais vécu dans un immeuble avec des murs isolés en paille et j'ai été assez bluffée : l'immeuble est bien chaud en hiver et reste très frais en été quand il fait chaud à l'extérieur.

Au niveau du confort acoustique, si les voisins sont respectueux et ne mettent pas de musique à fond, on ne les entend pas. Mon studio était situé sur rue donc forcément j'avais un peu de répercussion de la circulation mais ce n'était pas du tout le cas dans les studios qui donnaient sur le jardin. »

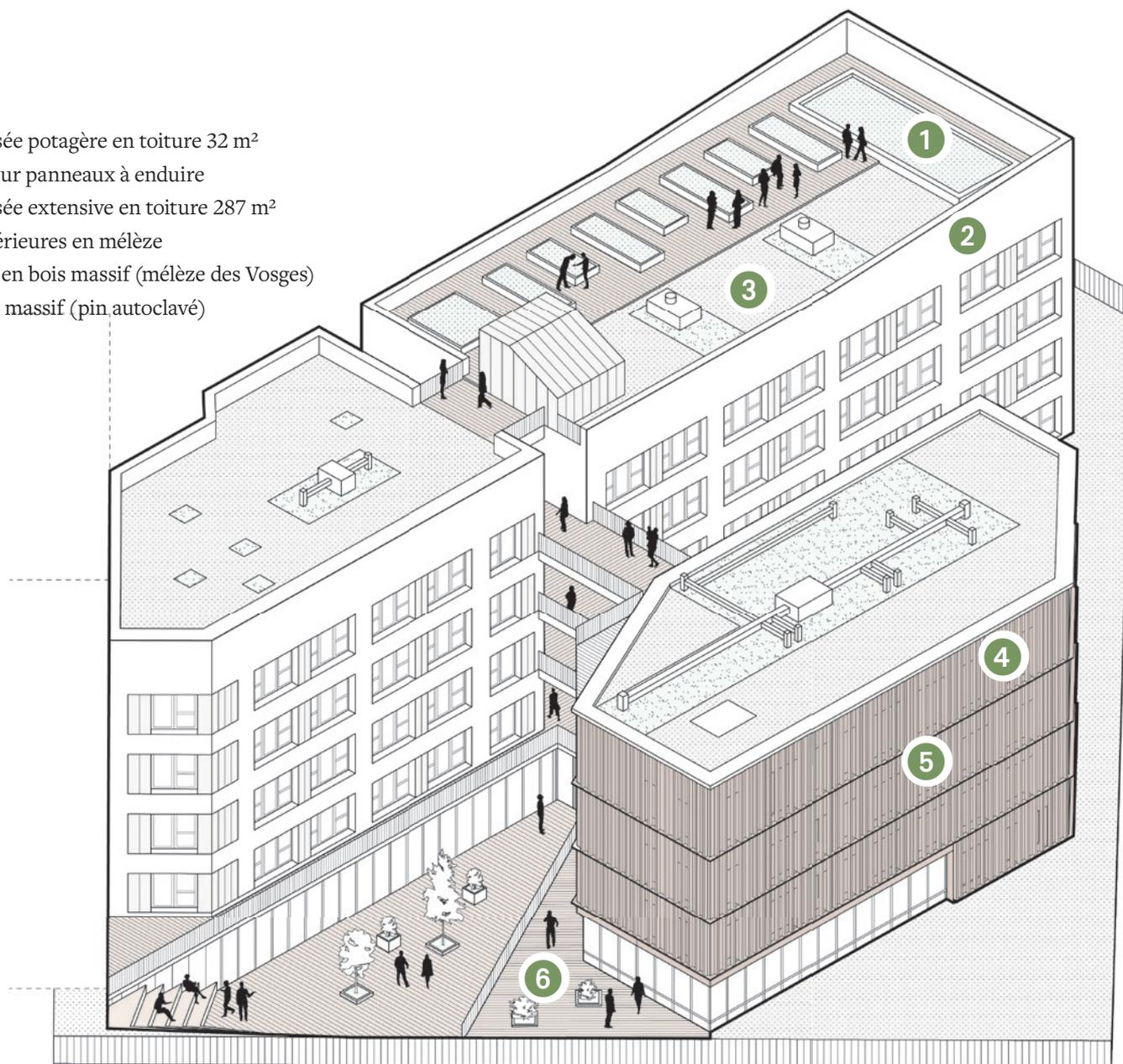
Assia Massaody >

Étudiante habitant la résidence Bertelotte



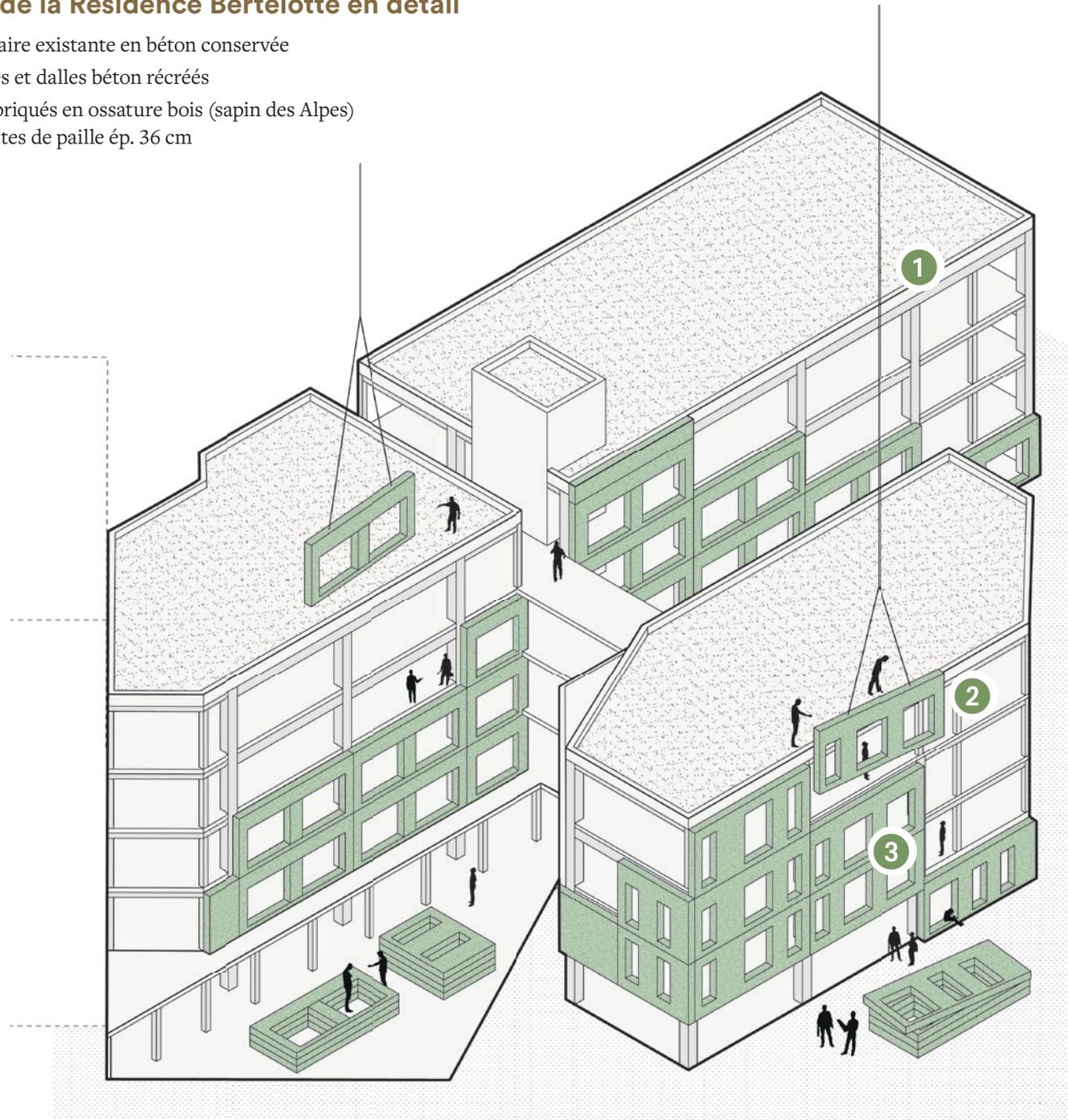
Pose d'un caisson bois-paille fermé sur l'ancienne structure béton.

- 1 Surface végétalisée potagère en toiture 32 m²
- 2 Enduit minéral sur panneaux à enduire
- 3 Surface végétalisée extensive en toiture 287 m²
- 4 Menuiseries extérieures en mélèze
- 5 Bardage vertical en bois massif (mélèze des Vosges)
- 6 Platelage en bois massif (pin autoclavé)



La structure de la Résidence Bertelotte en détail

- 1 Structure primaire existante en béton conservée
- 2 Poteaux-poutres et dalles béton récréés
- 3 Caissons préfabriqués en ossature bois (sapin des Alpes)
Isolation en bottes de paille ép. 36 cm



07





- Dalle & gradins en béton
- Poteaux & poutres en bois lamellé
- Charpente en bois lamellé & métal, isolation bac acier acoustique & laine de roche
- Murs à ossature bois, isolation ouate de cellulose et fibre de bois
- Voiles béton (parties sanitaires)
- Mur en CLT (bois lamellé croisé)
- Bardage bois

« Soutenu par un maître d'ouvrage impliqué, de fortes orientations environnementales ont guidé la réalisation du bâtiment. Isolation biosourcée renforcée, étanchéité à l'air niveau passif, étude pointue de la ventilation et des équipements techniques pour la production d'eau chaude font que l'équipement est très peu consommateur d'énergie. »

Pierre Béout, Architecte, Nunc

- **Maître d'ouvrage :** Commune de Langueux
- **Architecte :** Nunc
- **Localisation :** rue de Bretagne, 22360 LANGUEUX
- **Livraison :** 2019
- **Surface :** 2 480 m² SP
- **Coût des travaux :** 3,77 M€ H (1 520€/ m²)
- **BET :** Arborescence (structure bois), BSO (structure béton), Hinoki (fluides), SWS Ingénierie (OPC), Acoustibel (acoustique)
- **Entreprises clos couvert :** Camard TP (terrassment & VRD), Scobat (gros œuvre), EMG (charpente & bardage), Technic Étanchéité (couverture & étanchéité), Isol 22 (doublage & cloisons), Soquet (faux plafonds), Fraboulet (menuiseries extérieures), Beauce (menuiseries intérieures)

Complexe omnisports

Le Rebond

08

Un complexe omnisports lumineux et vertueux

> Un bâtiment précurseur dans son approche environnementale

Un gymnase à l'immense façade vitrée, des espaces de vie confortables, une insertion harmonieuse dans le tissu urbain : à Langueux, près de Saint-Brieuc, Le Rebond accueille les associations sportives de la ville dans un cadre fonctionnel, lumineux et vertueux. Finaliste du Prix National de la Construction Bois 2021 et lauréat de l'appel à projet « Bâtiment performant » de l'ADEME, il a été pensé pour devancer la RE2020. Conception bioclimatique, analyse du cycle de vie et mixité constructive privilégiant les matériaux biosourcés, mise au point technique à travers une simulation thermique dynamique, recours aux énergies renouvelables... Rien n'est oublié pour faire de ce complexe sportif un modèle tant environnemental qu'énergétique. Résultat : un bâtiment répondant au standard passif et labellisé E3C1 (le niveau C2 n'étant pas franchi non pour des raisons de conception, mais par manque de données environnementales sur certains produits biosourcés dans la base INIES à l'époque des études techniques).

> Une structure mixte bois béton

Le Rebond compte deux volumes distincts : la grande salle de 12 m de hauteur ouverte sur le terrain de sport voisin par une façade rideau de 44 m de long, à laquelle s'ajoute un second volume plus bas, en équerre autour de la salle, qui abrite les vestiaires, les salles d'entraînement et le club house. La structure est mixte : la dalle, les gradins et les murs des pièces humides sont en béton. Tout le reste de l'enveloppe est en murs à ossature bois. La grande salle repose sur des poutres en bois lamellé de 30 m de long sur 1,7 m de haut et des poteaux tous les 4,50 m, l'ensemble étant contreventé par une nappe en treillis métallique.

> Des matériaux issus de filières courtes et locales

Les caissons préfabriqués des murs à ossature bois sont en épicéa de Sitka, une essence exploitée en Bretagne. Ils ont été isolés sur le chantier à l'aide de 2 ressources produites localement : la ouate de cellulose et la fibre de bois. La ouate de cellulose a été insufflée dans les caissons sur une épaisseur de 20 cm et elle est accompagnée de 6 cm de fibre de bois semi-rigide côté intérieur et 4 cm côté extérieur. Posé sur double liteauage, le bardage de 4,4 cm d'épaisseur est en douglas français. À l'intérieur, au sein du volume bas, un voile porteur en bois issu de la première production bretonne de bois lamellé croisé est laissé apparent. ■

Conception

Gérer la lumière et le confort d'été dans un complexe sportif

Le complexe est implanté sur un axe est-ouest. La façade rideau de la grande salle, orientée au nord, permet un apport de lumière naturelle constant sans induire de surchauffe estivale ni d'éblouissement pour les sportifs. L'entrée principale desservant les différents espaces est, elle, orientée au sud et abritée des apports solaires en été par un parvis faisant office de casquette. Toutes les pièces orientées au sud sont équipées de menuiseries avec stores intégrés. La ouate de cellulose et la fibre de bois utilisées pour l'isolation des murs possédant un déphasage notable, elles permettent, en association avec les systèmes de ventilation naturelle nocturne (voir Focus Technique), de garantir un confort d'été optimal sans recourir à une climatisation mécanique.

Confort

Un dispositif acoustique performant et résistant avec le bois

En l'absence de texte réglementaire spécifique aux locaux sportifs, le bureau d'étude acoustique s'est appuyé sur les objectifs fixés dans la cible 9 du référentiel CERTIVEA. Pour assurer le confort acoustique du volume de la grande salle, les murs des 3 côtés sont entièrement doublés de panneaux OSB perforés, dont l'épaisseur de 22 mm offre une résistance suffisante aux chocs provoqués par les ballons. Au niveau du sol, le revêtement en linoléum est posé sur des doubles panneaux bois croisés sur mousse absorbante. Quant au plafond, il est en bac acier acoustique.

Technique

Des équipements pour maîtriser la consommation énergétique et gérer la ventilation naturelle

Si la qualité de l'enveloppe présente une étanchéité à l'air au niveau passif, les équipements du complexe sont eux aussi pensés pour maîtriser la consommation d'énergie et assurer un confort thermique été comme hiver.

- En toiture, 284 m² de panneaux photovoltaïques permettent une production annuelle de 44 000 kWh/an, qui couvre l'intégralité des besoins électriques du bâtiment.
- Une Gestion Technique Centralisée (GTC) pilote les systèmes de chauffage, de ventilation, d'éclairage ainsi que les stores des

menuiseries. La régulation du chauffage est découpée en 5 zones avec sonde d'ambiance permettant d'adapter les températures à l'utilisation de chaque zone.

- L'eau chaude sanitaire et le chauffage (hormis celui de la grande salle, en panneaux rayonnants) sont produits par deux pompes à chaleur.
- La ventilation nocturne nécessaire au confort d'été est assurée de plusieurs manières : les vestiaires et les salles d'activité sont équipés de fenêtres de toits pilotées par la GTC. Des tôles micro-perforées en façade permettent de ventiler la nuit sans risque d'effraction et dans la grande salle, les ouvertures sont dimensionnées pour obtenir, même sans vent, un renouvellement d'air de 1 vol/h.

Notes de mise en œuvre

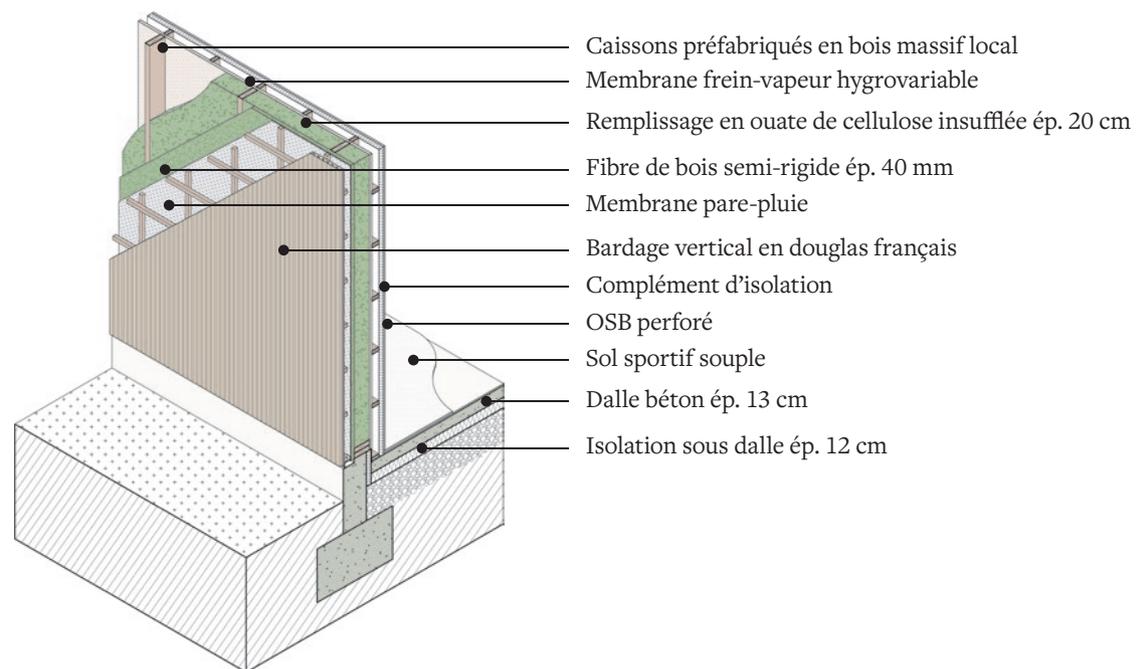
Le dimensionnement des équipements techniques (eau, chauffage, ventilation) a été modélisé sur une STD en complément des calculs réglementaires. Un calendrier d'utilisation de la salle a été établi par le maître d'ouvrage en collaboration avec les associations utilisatrices : il a permis d'avoir une image très précise de l'utilisation du bâtiment et d'orienter les choix techniques en incluant différents scénarios au plus près de la réalité.

RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES

- OSB perforé : NF DTU 36.2
- Bardage bois : NF DTU 41.2
- Murs Ossature Bois : NF DTU 31.2
- Isolation en Ouate de cellulose insufflée dans l'ossature :
Sous Avis Technique
- Frein vapeur hygrovariable : Sous Avis Technique
- Charpente bois : NF DTU 31.1



Plan de coupe de la façade





Témoignages

Maître d'ouvrage

«L'objectif de cette reconstruction, suite à l'incendie de la précédente salle, était de bâtir un complexe fonctionnel et agréable pour les utilisateurs, tout en réalisant un bâtiment performant sur le plan énergétique et novateur dans son approche environnementale. Cette approche a trouvé écho à l'échelle du quartier, où sont situés 5 autres équipements communaux : la production photovoltaïque du complexe ainsi que la récupération des eaux de pluie sont partagées avec ceux-ci et l'aménagement des abords a donné lieu à la création d'un parc et d'une voie verte.

C'est un bâtiment dont nous sommes très fiers. Il répond parfaitement à nos objectifs et les associations sportives nous font part d'excellents retours. Même si nous n'avons pas encore pu analyser toutes les données de la GTC, nous savons par les relevés mensuels que la performance énergétique est au rendez-vous.

Nous avons été très bien accompagnés, d'abord par les architectes qui nous ont poussés à aller plus loin en matière environnementale. Et également par l'ALEC (Agence Locale de l'Énergie et du Climat), que je recommande de contacter pour mener ce type de projet car elle est de très bon conseil pour les maîtres d'ouvrage. »

Jean-Luc Loichon >

Directeur du service aménagement, mairie de Langueux

Architecte

« Utiliser la mixité des matériaux pour construire des bâtiments toujours plus exemplaires sur le plan environnemental fait partie de notre ADN et notre pôle Ingénierie est très volontariste dans cette démarche, ce qui nous permet d'instaurer dès le début du projet un dialogue constructif avec les inspecteurs techniques.

L'ensemble de l'opération s'est réalisée dans un délai contraint lié à l'indemnisation de l'assurance. Le chantier a duré 16 mois et il s'est bien déroulé. Pour la mise en œuvre de la ouate de cellulose, je recommande d'être particulièrement vigilant en amont sur la qualité de l'étanchéité, qui ne doit pas comporter la moindre faille sous peine de devoir démonter et réinjecter la ouate.

La gestion du confort d'été est l'un des aspects sur lequel nous avons le plus travaillé. La région étant exposée à des vents forts, nous avons cherché des solutions alternatives aux brise-soleil orientables, comme par exemple les menuiseries double vitrage avec store motorisé intégré, accessible par un ouvrant de service et piloté par la GTC⁽¹⁾. L'ensemble du dispositif de ventilation naturelle est suffisamment bien étudié pour que la ventilation mécanique soit très peu utilisée. »

Pierre Béout > Architecte, Nunc

Utilisateur

« Avec le club de basket, nous sommes les deux grandes associations qui utilisons le plus le complexe et nous en sommes vraiment très satisfaits. Il n'a que des avantages.

D'abord jouer dans cette salle vitrée est vraiment très agréable. Telle qu'elle est implantée, le soleil ne représente aucune gêne et en soirée les éclairages sont bien étudiés. On a de la hauteur, l'acoustique est super même quand on est nombreux. Les vestiaires sont eux aussi très confortables, avec une bonne qualité thermique.

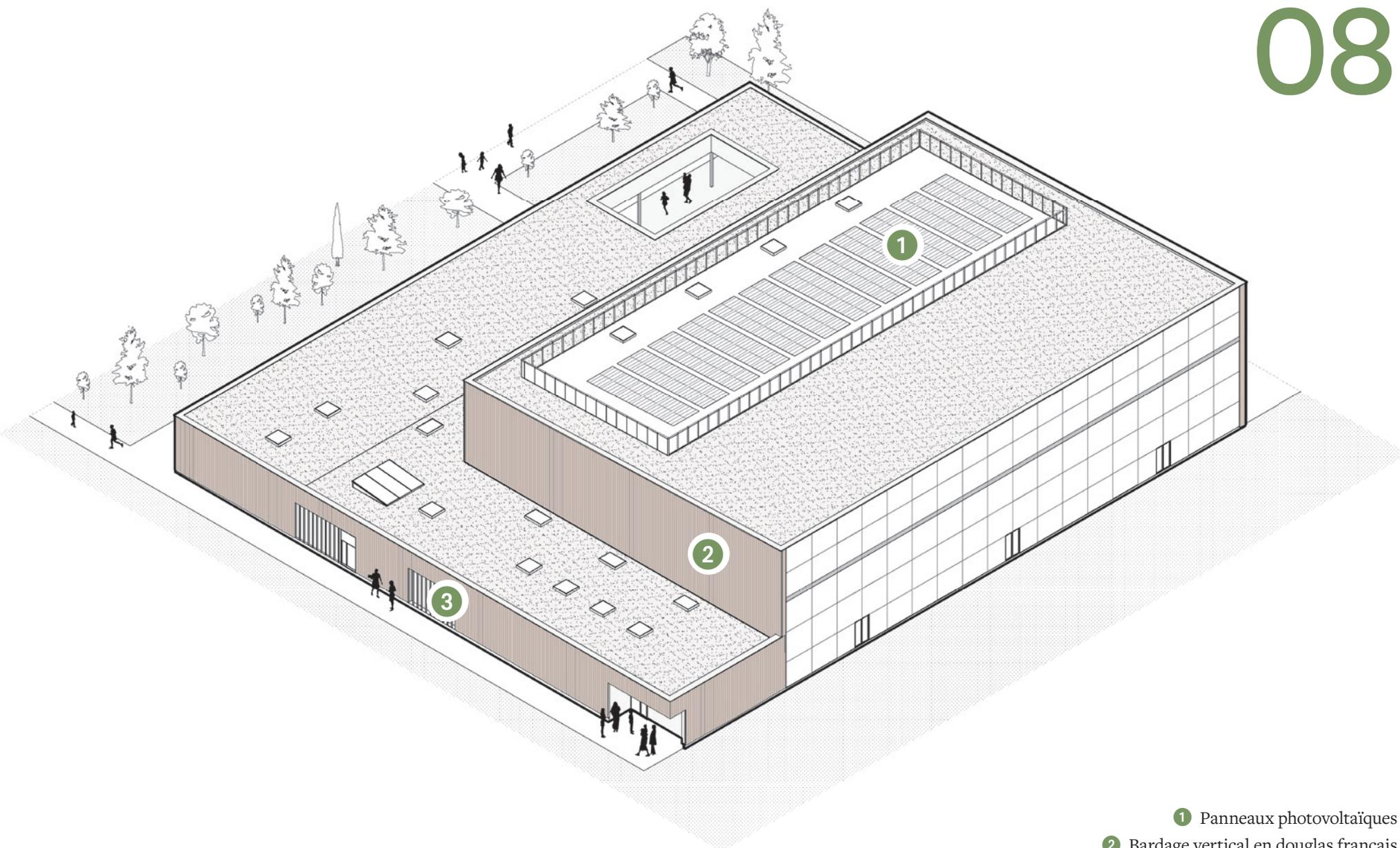
La salle nous a aussi apporté des équipements que nous n'avions pas avant, comme par exemple des douches individuelles, des espaces de stockage, l'affichage électronique et bien sûr le club house, très important ! »

Michel Kerjean >

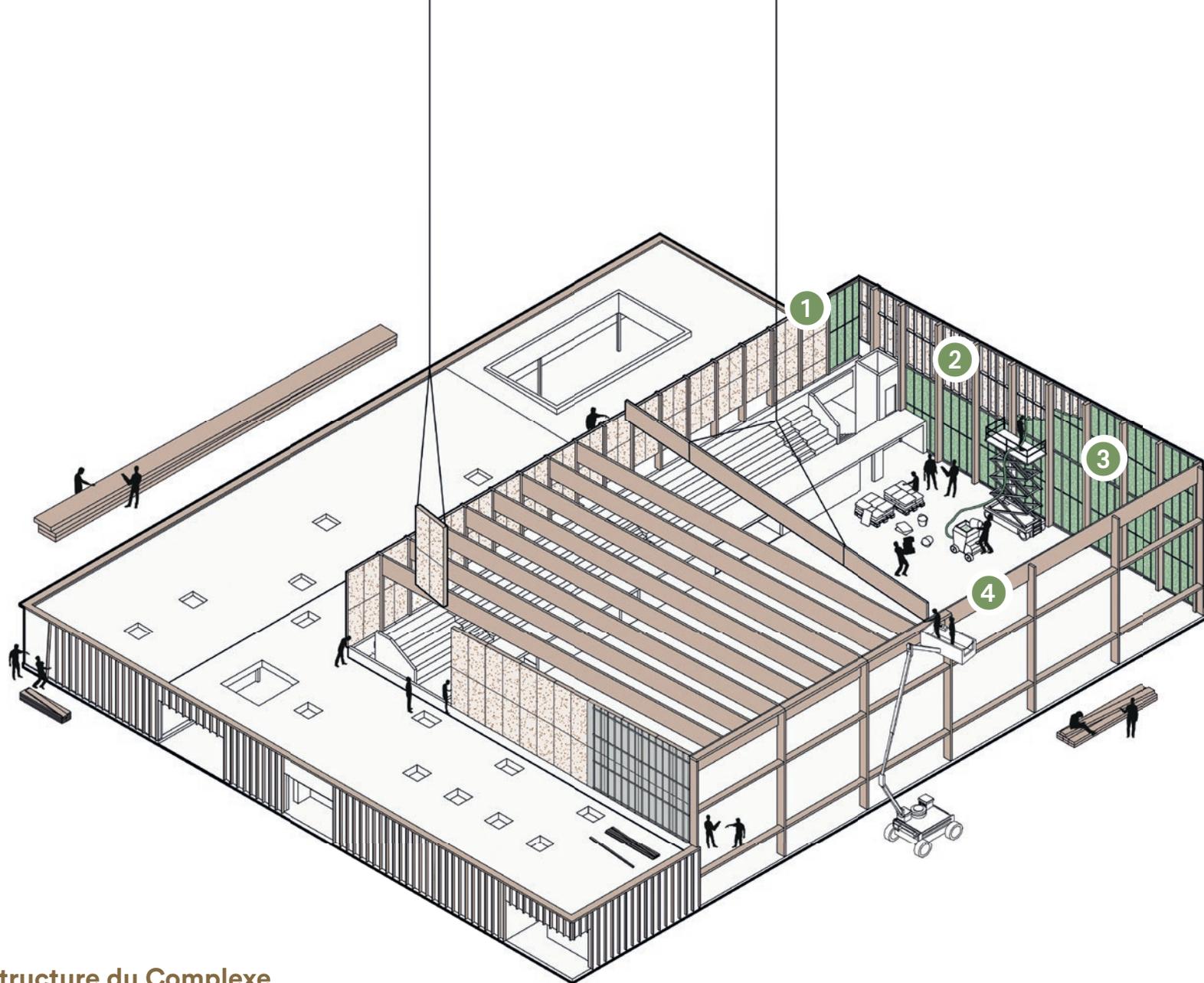
Co-président du club de volley de Langueux

(1) GTC : Gestion Technique Centralisée





- ① Panneaux photovoltaïques
- ② Bardage vertical en douglas français
- ③ Bardage ajouré dissimulant les pompes à chaleur incluses dans le volume



La structure du Complexe omnisports Le Rebond en détail

- ① OSB perforé
- ② Caissons préfabriqués en bois massif local
- ③ Remplissage en ouate de cellulose insufflée ép. 20 cm
- ④ Charpente en bois lamellé





- RDC bas de l'école en béton, RDC haut en bois
- Charpente en bois lamellé, bois massif & BMR⁽¹⁾, isolation laine de roche filmée
- Murs périphériques à ossature bois, isolation chanvre lin coton et coton recyclé
- Murs intérieurs en CLT (bois lamellé croisé)
- Bardages bois, aluminium et ardoise

« Le bâtiment profite des apports solaires naturels. Les créations d'un puits canadien et d'enveloppes biosourcées très performantes thermiquement à base de chanvre et de coton recyclé lui permettent d'atteindre le label Passivhaus (2). »

Marc Nicolas
Architecte, Marc Nicolas Architectures

- **Maître d'ouvrage :** Ville de Saint-Lô
- **Architecte :** Marc Nicolas Architectures
- **Graphisme & identité visuelle :** Agence 21x29,7 (R. Paoli)
- **Localisation :**
Impasse du Docteur A. Schweitzer, 50000 SAINT-LÔ
- **Livraison :** 2021
- **Surface :** 4 090 m² SP
- **Coût des travaux :** 6,93 M€ HT (1 693€/m²)
- **BET :** Betom Ingénierie Rennes (BET TCE), Capterre (BET HQE), Acoustibel (acoustique)
- **Entreprises clos couvert :** Eurovia (terrassement), Zenone (gros œuvre), Cruard (charpente & bardage), Smac (couverture & étanchéité), Alprofer (menuiseries extérieures), ASC Robine (serrurerie), SPN14 (doublage, cloisons & plafonds), Gouelle (menuiseries intérieures)

(1) BMR : Bois Massif Reconstitué
(2) Le groupe scolaire a obtenu le niveau de base

Groupe scolaire Samuel Beckett

Une école au confort remarquable

09

> Une construction modèle

Lauréat régional pour la Bretagne et finaliste du Prix National de la Construction Bois, c'est un bâtiment modèle à plus d'un titre. Formant un lien urbain entre éco-quartier et tissu résidentiel pavillonnaire, il accueille 430 enfants dans des conditions de confort remarquables, où dominent lumière naturelle et vues sur le paysage extérieur. C'est aussi un lieu fonctionnel et inclusif, qui, à la jonction des sections maternelles et élémentaires, abrite en son cœur une unité d'enseignement médico-éducatif (classes ULIS et UEM) pour mieux intégrer les enfants aux besoins spécifiques. Sur le plan constructif, il fait également preuve d'exemplarité environnementale, à travers une conception bioclimatique, une volonté d'autonomie énergétique et une large présence du bois et des matériaux biosourcés.

> Des choix constructifs adaptés à la topographie du site

Implanté sur un terrain à fort dénivelé (plus de 7 m), le groupe scolaire s'établit à mi-hauteur de la topographie afin de minimiser déblais et remblais. Il est constitué d'un rez-de-chaussée bas en béton accueillant l'école élémentaire et d'un rez-de-chaussée haut en bois associant murs à ossature bois et circulations en CLT, qui abrite les maternelles. Apparents, CLT et béton donnent une identité propre à chacune des écoles, qui s'ouvrent toutes deux en continuité de leurs

espaces récréatifs respectifs. Les entrées sont regroupées autour d'un parvis commun, à la croisée des cheminements depuis les quartiers périphériques. Couvert par un porte-à-faux de plus de 10 m, cet espace extérieur est aménagé comme un véritable lieu public articulant le tissu urbain à son environnement paysager, notamment grâce à un large escalier reliant l'entrée haute et l'entrée basse.

> Écoconstruction & autonomie énergétique

Les matériaux et solutions techniques s'inscrivent dans une démarche d'écoconstruction et d'autonomie énergétique, tout en répondant aux conditions de confort souhaitées pour les enfants : le bois autorise une architecture ouverte et chaleureuse, et l'isolation biosourcée crée une ambiance thermique et acoustique favorisant l'apprentissage. La performance de l'enveloppe est assurée par des murs à ossature bois isolés avec une laine chanvre, lin et coton, complétée par de la laine de coton recyclé côté intérieur. Intégralement préfabriqués en atelier, les murs à ossature bois sont livrés avec leur bardage bois ou aluminium laqué blanc. Un puits climatique horizontal a été aménagé en profitant du dénivelé du terrain. À travers un réseau aéraulique dissimulé dans les murs à ossature bois, il permet un retour d'air à température constante de 14°C dans les classes, le complément de chauffage étant fourni par une chaudière à gaz. ■

Conception

Compacité et luminosité : conçu de manière compacte, dense et ramassée, le groupe scolaire bénéficie pourtant pleinement des bienfaits de la lumière naturelle. Largement ouvert au sud et à l'est pour profiter de l'ensoleillement, il est parcouru de patios végétalisés et de multiples transparences. Les circulations en lumière naturelle mettent en relation les espaces pédagogiques, récréatifs et le paysage extérieur de haie bocagère. Ces ouvertures omniprésentes permettent aux enfants de se situer temporellement et de profiter d'un environnement où le végétal est très présent. C'est aussi le cas des riverains en surplomb de l'école, dont les vues plongent sur les toitures végétalisées qui sont constituées de cassettes abritant une sélection de plantes endémiques.

Confort

Une ambiance saine et feutrée avec le coton recyclé : avec un taux d'émission de Composés Organiques Volatiles (COV) inférieur à la limite de détection de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le coton recyclé se classe A+ pour le niveau d'émission de substances volatiles dans l'air intérieur, ce qui en fait un matériau d'isolation idéal pour les environnements abritant des personnes fragiles ou des enfants. Réalisé avec des vêtements usagés collectés par le réseau associatif Le Relais, il contient en moyenne 85% de fibres textiles recyclées et 15% de liant polyester. Efficace pour lutter contre le froid (λ de $0,039 \text{ W}/\text{mk}$) et pour le confort d'été (temps de déphasage de 6 à 8 h pour une épaisseur de 200 mm), il est aussi très performant sur le plan acoustique, avec une capacité d'absorption des sons très élevée.

Technique

Une isolation acoustique performante

Comme le souligne le directeur de l'école (témoignage page 112), l'isolation acoustique du bâtiment est l'un des facteurs clés du bien-être des enfants et des équipes enseignantes. Majoritairement en fibres végétales avec une forte proportion de coton, l'isolation des parois a été étudiée pour limiter la propagation des bruits aériens que constituent les cris d'enfants et former un cocon protecteur :

- Les murs à ossature bois (d'une profondeur totale de 600 mm) obéissent au principe d'affaiblissement acoustique « masse-ressort-masse » : fermés par des panneaux OSB ép. 15 mm, les caissons ainsi formés sont isolés entre montants avec une laine chanvre, lin et coton sur 220 mm, à laquelle s'ajoutent 50 mm de coton recyclé côté intérieur.
- Les toitures sont isolées avec 300 mm en 2 couches croisées de laine de roche (filmée pour maintenir les particules dans les panneaux) et les plafonds sont doublés avec des dalles démontables ép. 35 mm en laine de bois avec liant de gypse. Elles alternent avec des panneaux de lamelles de bois qui, peints en bleu, jouent à la fois un rôle acoustique et signalétique.
- Pour isoler l'école des bruits extérieurs, les menuiseries labellisées Passivhaus sont en triple vitrage, verres posés bord à bord et serrés sur une bande EPDM (Éthylène Propylène Diène Monomère), ce qui limite également les phénomènes de déperdition thermique habituels sur les profils classiques.

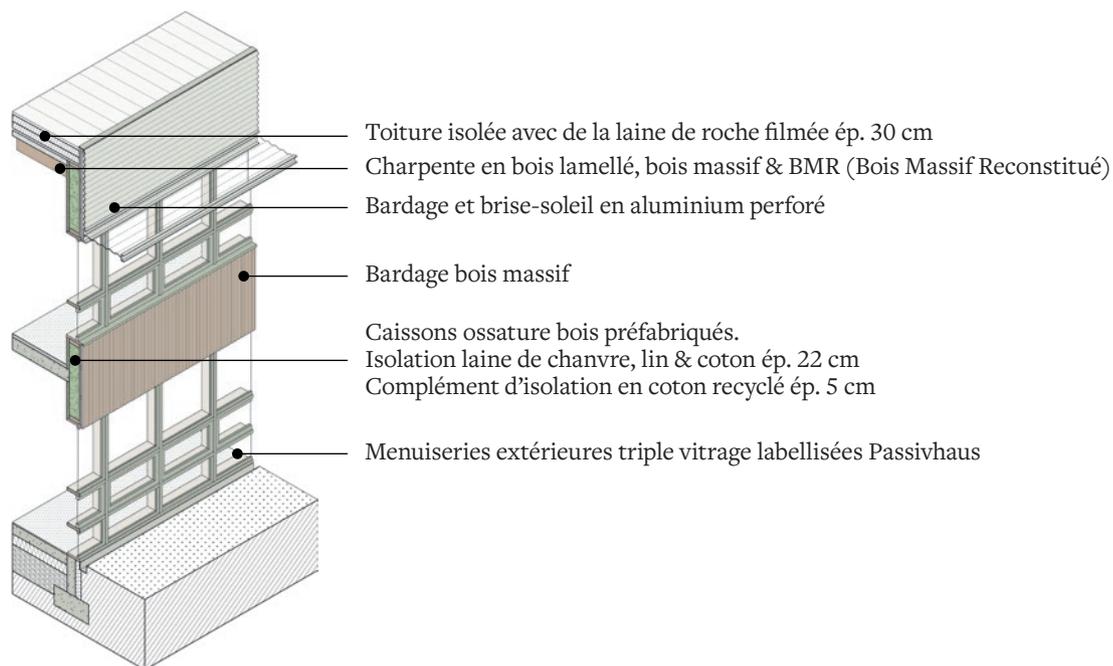
Notes de mise en œuvre

Le porte-à-faux de plus de 10 m abritant le parvis d'accueil central du groupe scolaire a été géré au moyen de poutres mixtes bois acier Vierendeel (ou poutre à arcade ou poutre échelle). Ce type de poutre traditionnellement utilisée dans la construction métallique est constitué de deux membrures continues reliées par des montants verticaux encastrés formant un réseau à mailles carrées et donc sans diagonale. Cette absence de diagonale présente l'avantage de pouvoir aménager facilement des ouvertures. D'une hauteur de 3,60 m et d'une longueur de 21 m (supportant le porte-à-faux sur la moitié de leur longueur), les poutres Vierendeel du groupe scolaire ont été réalisées avec des membrures en métal et des montants verticaux en bois lamellé.

RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES

- Charpente bois :
NF DTU 31.2 (si préfabrication)
NF DTU 31.1 (si pas de préfabrication)
- Bardage bois : NF DTU 41.2
- Menuiseries extérieures : NF DTU 36.5
- Caissons préfabriqués : NF DTU 31.2
- Isolation en laine de chanvre/lin/coton :
Sous Avis Technique
- Isolation en coton recyclé :
Sous Avis Technique
- Poutre mixte bois-métal (porte-à-faux) :
NF DTU 31.1 et NF DTU 32.1

Plan de coupe de la façade





Témoignages

Maître d'ouvrage

« Compte tenu de l'histoire de la ville de Saint-Lô, nous travaillons beaucoup plus en réhabilitation qu'en construction neuve. Le groupe scolaire Samuel Beckett a donc constitué notre premier projet mixte bois béton d'une telle envergure. Nous avons fait un choix ambitieux au plan environnemental sur proposition de la maîtrise d'œuvre, qui a su parfaitement nous accompagner dans cette démarche.

Même si nous avons rencontré certaines difficultés, au niveau de la couverture notamment, le chantier s'est globalement bien déroulé, avec des entreprises de maçonnerie et de construction bois très engagées et forces de proposition. Le rendu final est extrêmement satisfaisant, tant du point de vue architectural que structurel. Le groupe scolaire fonctionne parfaitement bien et les équipes enseignantes sont très heureuses de ces nouveaux locaux.

Le choix de la labellisation Passivhaus a représenté un investissement important en temps et demande une très grande rigueur dans l'exécution. Nous avons choisi de ne pas fonctionner en macro-lots pour favoriser les entreprises locales et contribuer à développer leur savoir-faire en matière environnementale, mais il faut prévoir un suivi important lorsqu'une entreprise n'est pas correctement sensibilisée à l'exigence requise dans le cadre du label. »

Jennifer Le Roux >

Directrice de la maîtrise d'ouvrage et des grands projets, ville de Saint-Lô

Architecte

« Nous sommes conscients des enjeux environnementaux et sociaux de la pratique architecturale. C'est pourquoi nous avons développé ce projet d'une part en visant le label passif et d'autre part en associant étroitement l'équipe enseignante tout au long de la conception et du chantier.

C'est un projet constructif vertueux et exemplaire, où l'efficacité de son facteur de forme et de ses composants (majoritairement préfabriqués hors site) conjuguent rapidité de réalisation et optimisation économique.

Les lots du gros œuvre et de la construction bois ont très bien fonctionné. En aval cependant, il est important de développer la culture technique des entreprises locales sur le plan environnemental pour qu'elles soient capables de répondre aux exigences de la labellisation passive, notamment sur les spécificités de l'étanchéité à l'air. En l'absence de macro-lots, la question de « qui assume la responsabilité de l'enveloppe sur un chantier de cette envergure » peut créer des tensions entre entreprises mais, une fois ces petites difficultés surmontées, le résultat final est là et nous en sommes très satisfaits. »

Marc Nicolas >
Architecte, Marc Nicolas Architectures

Utilisateur

« Avec l'équipe enseignante nous sommes vraiment ravis de notre nouvelle école. Elle est bien pensée, bien réalisée et avoir été associés à sa conception a été une opportunité très enrichissante.

Son premier avantage, c'est le confort acoustique. Dans un bâtiment de cette taille, au moment des entrées et sorties c'est toujours la cacophonie mais ce n'est pas du tout le cas dans notre établissement. Même dans les lieux de passage, l'ambiance sonore reste toujours feutrée et agréable. Cela favorise beaucoup le retour en classes des enfants qui se fait plus rapidement et plus sereinement. Ensuite l'environnement bois est à la fois très chaleureux et très apaisant. Les enfants et nous-mêmes nous sentons bien pour travailler et le bois participe beaucoup à ce bien-être.

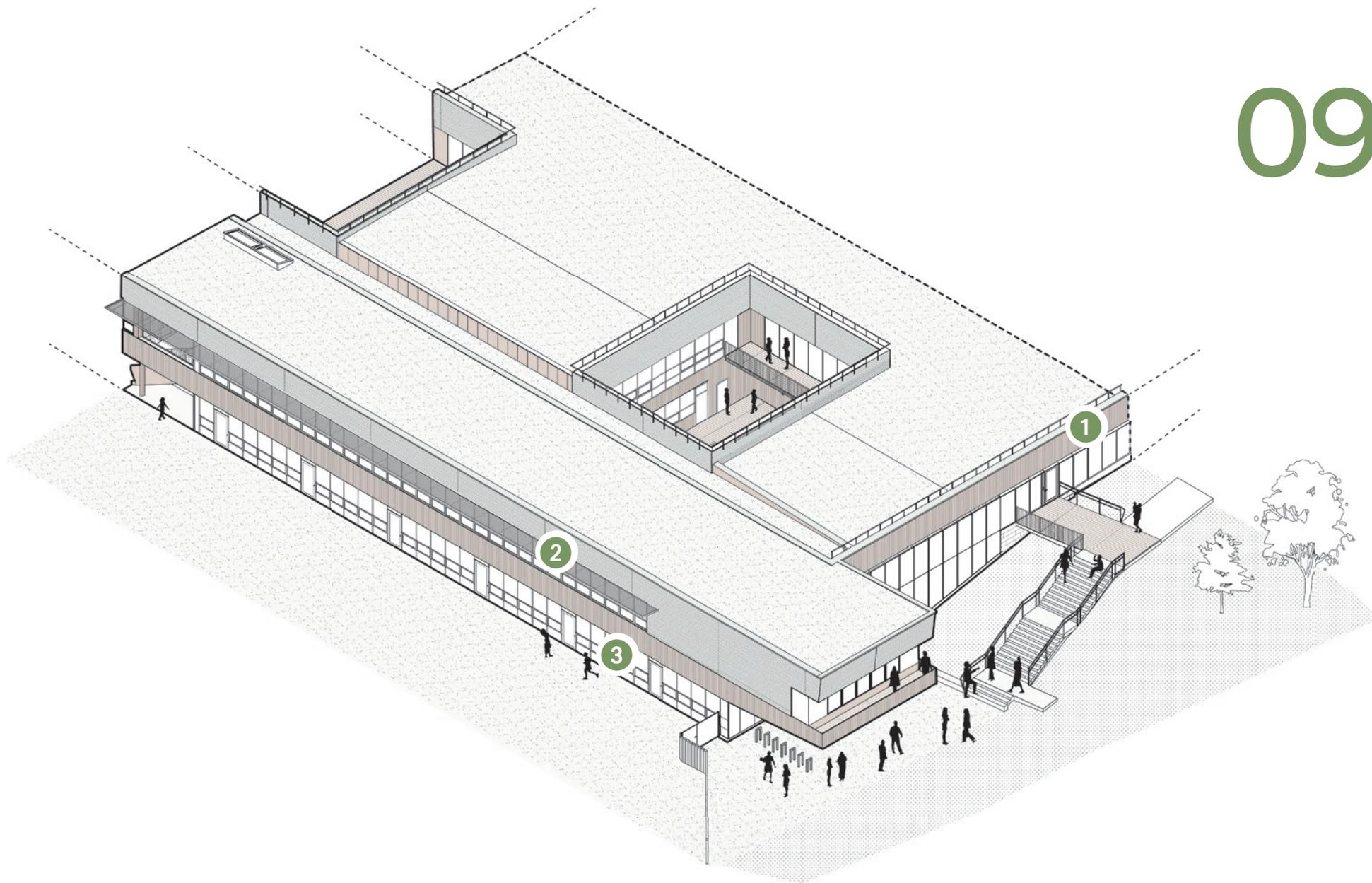
Même chose sur le plan du confort thermique : on sent que le bâtiment est parfaitement adapté pour lutter contre le froid et quand il fait chaud, la température reste tout à fait acceptable, y compris dans les salles orientées au sud. Enfin les circulations et l'organisation des flux sont très bien étudiés, ce qui a été particulièrement utile en période Covid. En un mot notre nouvelle école est canon ! »

Damien Pierrard >
Directeur du groupe scolaire Samuel Beckett

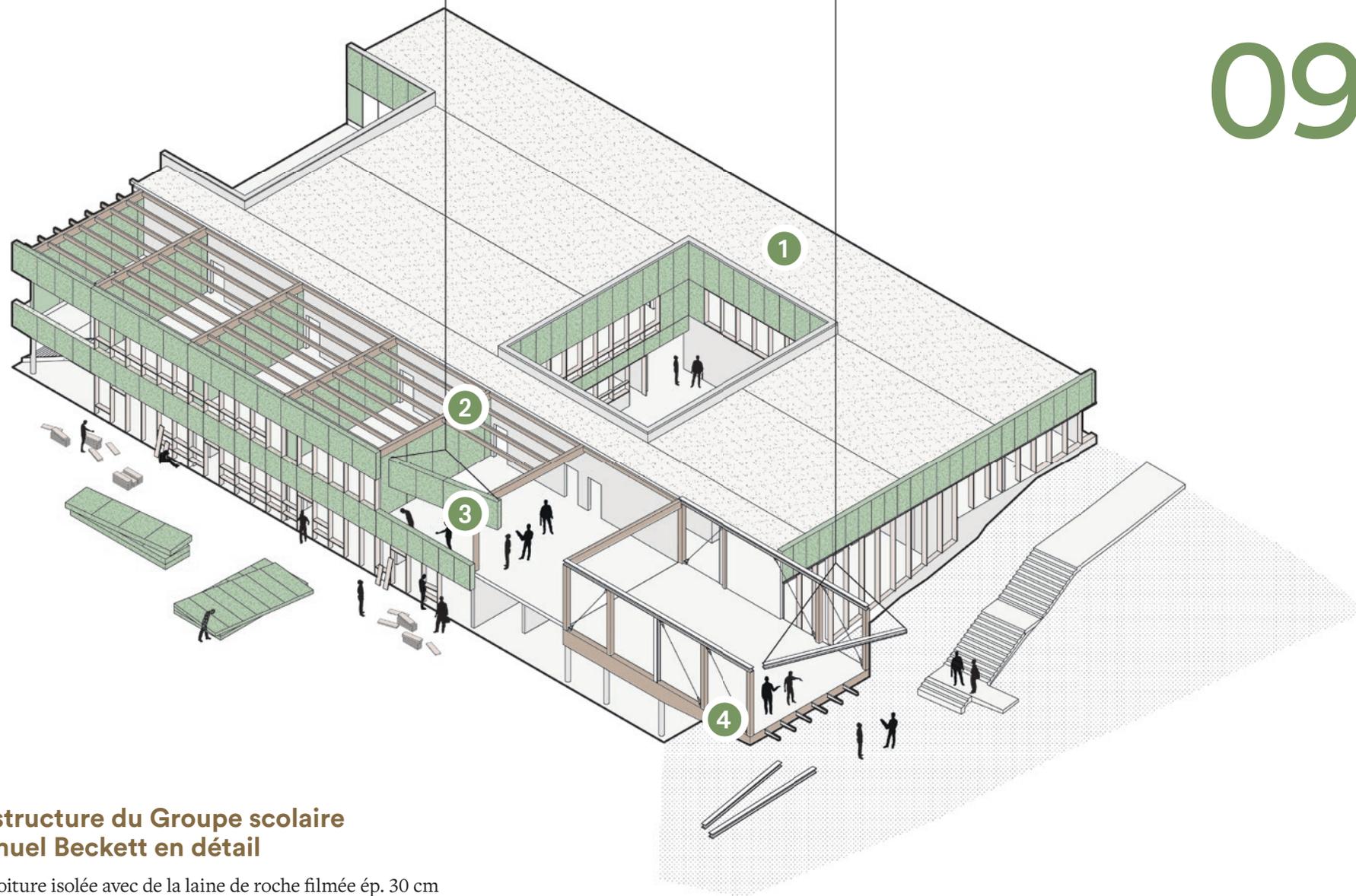


1-800-368-7622
www.ventilation-air.com

3000-1



- 1 Bardage bois massif
- 2 Bardage et brise-soleil en aluminium perforé
- 3 Menuiseries extérieures triple vitrage labellisées Passivhaus



La structure du Groupe scolaire Samuel Beckett en détail

- ① Toiture isolée avec de la laine de roche filmée ép. 30 cm
- ② Charpente en bois lamellé, bois massif & BMR (Bois Massif Reconstitué)
- ③ Caissons ossature bois préfabriqués
Isolation laine de chanvre, lin & coton ép. 22 cm
Complément d'isolation en coton recyclé ép. 5 cm
- ④ Porte-à-faux de 10 m constitué de poutres mixtes bois-acier





bois **béton** **béton de chanvre** **fibre de bois**

- Dalle et planchers en béton
- Murs en panneaux à ossature bois préfabriqués, isolation en béton de chanvre & fibre de bois
- Charpente en bois lamellé
- Toiture en caissons à ossature bois, isolation en béton de chanvre

« Construction innovante à haute performance énergétique, l'extension du siège du groupe Olga se démarque par son éco-conception, écho de la politique du maître d'ouvrage. L'usage de matériaux biosourcés d'origine locale et la conception bioclimatique permettent d'inscrire le bâtiment dans une démarche de labellisation Bâtiment Bas Carbone. »

Christine Koutev > Architecte, Koutev Architecture
Quentin Pichon > Ingénieur-architecte, CAN-ia

- **Maître d'ouvrage** : Groupe Olga
- **Architecte** : Koutev Architecture (mandataire conception) & CAN-ia (mandataire exécution)
- **Localisation** : 8 rue Julien Neveu, 35530 NOYAL-SUR-VILAINE
- **Livraison** : 2018
- **Surface** : 935 m² SDP
- **Coût des travaux** : 2 M€ HT (2 139€/m²)
- **BET** : Ouest Structures (structure béton), 3C Eco Structure (structure bois), Bio B.E. (thermique), Icofluides (fluides)
- **Entreprises clos couvert** : Ets Angevin (gros œuvre), SARL LB Ecohabitat (béton de chanvre et finitions), CMB (charpente bois), Ets Heriau (couverture), Sas Baron (menuiseries extérieures), CM Agencement (menuiseries intérieures bois)

Extension du Groupe Olga

La préfabrication bois-béton de chanvre

10

> Un bâtiment précurseur pour une entreprise agro-alimentaire engagée

Depuis 3 générations, le groupe Olga (ex Triballat-Noyal) conçoit et fabrique des produits alimentaires en se souciant d'allier santé et respect de la planète. C'est donc tout naturellement que ses dirigeants ont souhaité inscrire l'extension du siège social près de Rennes dans la démarche sociétale de l'entreprise. Le cahier des charges était précis : privilégier l'usage de matériaux de proximité et biosourcés, limiter au maximum l'empreinte carbone du projet tout en construisant, dans des délais serrés, un bâtiment d'un grand confort acoustique et thermique. Les architectes ont répondu avec une solution mise en œuvre pour la première fois à cette échelle : des murs à ossature bois isolés en béton de chanvre entièrement préfabriqués.

> Une sobriété constructive en accord avec la philosophie environnementale de l'entreprise

L'immeuble a été conçu en cohérence architecturale avec les bâtiments du siège social du groupe déjà présents sur le site. D'une grande sobriété, il consiste en un monovolume de 27 m par 16 m, comprenant 2 niveaux de bureaux plus un niveau inférieur semi-enterré, qui abrite des vestiaires et espaces de stockage. Conformément au cahier des

charges, les choix constructifs privilégient les matériaux biosourcés pour limiter l'empreinte carbone du bâtiment, et tous les acteurs du projet sont des entreprises locales. Si l'infrastructure et les planchers sont en béton, la charpente est en bois lamellé, tandis que l'ensemble des façades et de la toiture est réalisé en bois et béton de chanvre, laissant l'immeuble respirer naturellement.

> Une large part à la préfabrication

Les murs à ossature bois isolés par 24 cm de béton de chanvre ont été préfabriqués en usine, à partir de chanvre cultivé à moins de 100 km. Pensés comme un mur rideau, les 31 panneaux assemblés sur site sont de différentes longueurs adaptées au calepinage du projet (de 6,50x3,50 m pour le plus grand), et tous sont à hauteur d'étage afin de faciliter le chantier. Ils ont été livrés « fermés » par un fond de coffrage en fibre de bois rigide qui procure un complément d'isolation. Une fois posés, ils ont ensuite été revêtus à l'intérieur d'un enduit chaux-chanvre et à l'extérieur d'un enduit chaux-sable. Les caissons de toiture en bois ont, eux, été isolés avec 365 mm de béton de chanvre, projeté sur site dans l'ossature bois. ■

Conception

Un principe bioclimatique qui offre à la fois lumière naturelle et protection solaire. La conception de l'immeuble s'appuie sur les principes bioclimatiques, avec une priorité donnée à l'apport de lumière naturelle. Une étude FLJ (Facteur Lumière Jour) a été menée pour obtenir un bilan ensoleillement et quantifier l'apport de lumière naturelle. Elle a pris en compte le pourcentage de surface vitrée, l'orientation du bâtiment, la géométrie des ouvertures et aussi les coefficients de réflexion lumière des enduits. Sur le plan architectural, 4 verrières ont été aménagées dans la toiture, qui apportent de la clarté jusqu'au rez-de-chaussée. Elles s'accompagnent de larges baies vitrées sur les façades sud, est et ouest, toutes protégées du rayonnement solaire par des casquettes horizontales ou des brise-soleil verticaux selon l'orientation. Le Facteur Lumière Jour⁽¹⁾ – indicateur servant de base pour calculer le niveau d'autonomie en lumière naturelle intérieure de l'immeuble⁽²⁾ – est supérieur à 1,2% pour 80% de la zone de surface de premier rang. Sur le plan constructif, les parois en béton de chanvre contribuent également au fonctionnement bioclimatique de l'immeuble en apportant une régulation thermique naturelle, qui évite l'installation d'une climatisation mécanique.

Confort

Confort thermique du béton de chanvre. En absorbant environ 95% des variations de température été comme hiver, le béton de chanvre apporte un très grand confort thermique, avec un effet de climatisation naturelle. Tempérée et « respirante », l'enveloppe en bois et béton de chanvre permet de créer un espace de vie sain et thermo-régulé, en

évitant la sensation désagréable de « paroi froide » et donc en augmentant le confort perçu. Ces qualités thermiques se doublent d'une forte capacité d'absorption acoustique (coefficient d'absorption de 80%) qui, conjointement avec les habillages des plafonds en panneaux de fibre de bois perforés, permet une insonorisation optimale des bureaux.

Technique

Les panneaux préfabriqués à ossature bois et béton de chanvre entre montants constituent une enveloppe isolante continue qui réduit les ponts thermiques en enveloppe. Pouvant intégrer les réseaux et les châssis d'ouvertures, ils forment la base d'un complexe mural « respirant » composé, de l'extérieur vers l'intérieur, par :

- Un enduit chaux-sable ép. 20 mm.
- Un fond de coffrage en fibre de bois rigide ép. 80 mm.
- Une ossature bois 45 x 120 mm servant de support au béton de chanvre ép. 200 mm.
- Un parement intérieur qui, dans le cas du groupe Olga, est en enduit chaux-chanvre ép. 30 mm pour laisser respirer la « peau » du bâtiment. Cet enduit peut être remplacé par un doublage plâtre si l'on souhaite une finition plus conventionnelle des murs.

Notes de mise en œuvre

Les avantages de la préfabrication en usine des murs bois-béton de chanvre. Les panneaux à ossature bois isolés en béton de chanvre réduisent les nuisances sur chantier mais optimisent surtout considérablement les délais. La préfabrication des panneaux en parallèle des travaux de terrassement et de

fondation fait gagner un temps précieux (le séchage des panneaux en atelier a duré 3 semaines pour une prise à cœur parfaite, un délai considérablement raccourci par rapport à la projection sur chantier), tout en offrant des conditions de fabrication et de séchage optimales, gages de qualité. Les sites de fabrication français savent s'adapter au calepinage architectural propre à chaque projet, avec des dimensions généralement calées sur une hauteur d'étage et des longueurs pouvant aller jusqu'à 12 m.

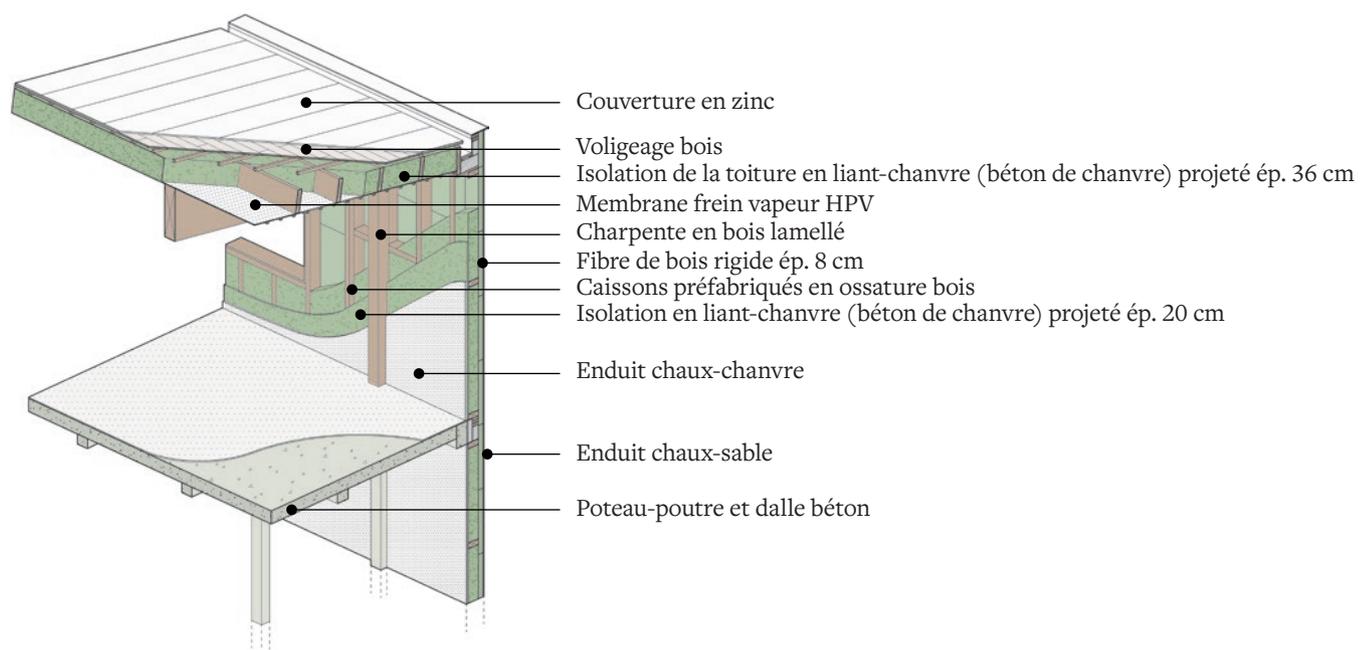
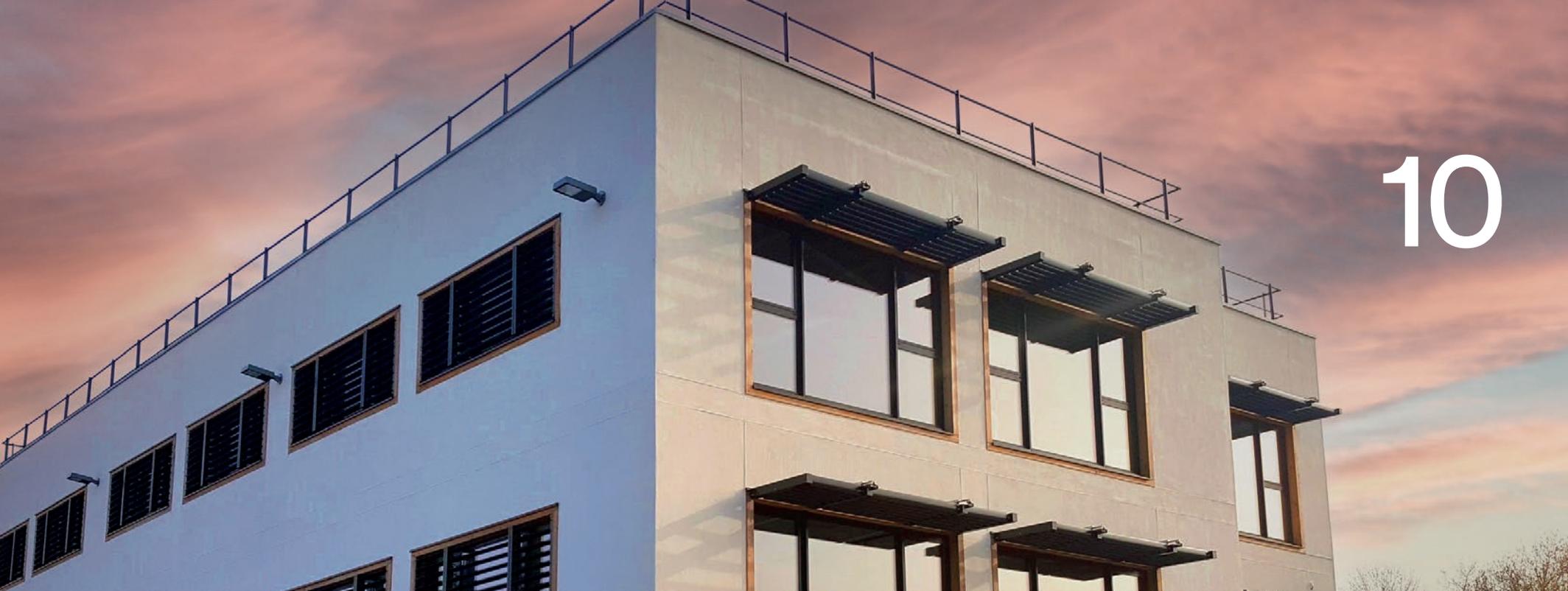
La résistance au feu. Les murs en béton de chanvre et ossature bois présentent un très bon comportement de résistance au feu en termes d'étanchéité aux flammes et au gaz et d'isolation thermique, avec une résistance au feu (REI) certifiée de 240 min.

(1) Le Facteur de Lumière du Jour en un point intérieur d'un bâtiment est le rapport de l'éclairement naturel reçu en ce point à l'éclairement extérieur simultané sur une surface horizontale, en site parfaitement dégagé, par ciel couvert.

(2) NDLR : le seuil minimal préconisé dans les études internationales qui ont été prises en compte dans les travaux préparatoires pour la norme européenne PR EN 17037 "L'éclairage naturel des bâtiments" est de 300 lux, durant 50% du temps, sur 90% de la surface de travail (source : Guide de l'éclairage naturel zénithal, Gif Lumière).

RÉFÉRENTIELS TECHNIQUES

- Isolation en béton de chanvre : Règles professionnelles exécution d'ouvrages en béton de chanvre
- Façade ossature bois : NF DTU 31.4 - Travaux de bâtiment - Façades à ossature bois
- Charpente en bois lamellé : NF DTU 31.1 - Travaux de bâtiment - Charpente en bois
- Caisson de toiture : NF DTU 31.2 - Travaux de bâtiment - Construction de maisons et bâtiments à ossature bois



Plan de coupe de la façade



Témoignages

Maître d'ouvrage

«L'extension de notre siège a constitué une première pour la préfabrication à cette échelle des murs bois-béton de chanvre. Nous avons tenu à expérimenter cette solution, qui fait appel à des filières et des entreprises locales, car elle s'inscrit dans la droite ligne de nos engagements environnementaux et sociétaux.

Nous sommes vraiment très satisfaits de ce choix, dont l'exécution a été parfaitement menée par la maîtrise d'œuvre comme par les entreprises. D'abord il a permis d'édifier le bâtiment en seulement 8 mois, avec des zones de vie de chantier restreintes et un minimum de nuisances pour le voisinage (nous sommes situés au centre de Noyal-sur-Vilaine). Ensuite pour le confort qu'il nous offre, que ce soit sur le plan de la sérénité acoustique ou de la sobriété énergétique (en été, nous avons un fonctionnement passif et en hiver, la consommation électrique est extrêmement faible car le bâtiment ne descend jamais en dessous de 18/19°C).

Ce type de construction implique des habitudes communes nouvelles pour les usagers, notamment en été où les ventilations se font automatiquement la nuit et où il est important que chacun garde au maximum les fenêtres fermées le jour pour conserver la fraîcheur. C'est pourquoi je conseillerai de bien former les usagers au fonctionnement d'un tel immeuble.

Au-delà du bois et du béton de chanvre, nous avons opté pour une large utilisation de matériaux biosourcés (sols en linoléum, peintures à base d'algues) et si nous devons mener à nouveau un tel projet aujourd'hui, nous irions sans doute encore plus loin en étendant la présence structurelle du bois aux planchers et en élargissant la préfabrication bois-béton de chanvre à la toiture. La question du coût est certes un enjeu (hors travaux de terrassement et d'aménagement du terrain, nous arrivons à un budget de 1 650 €/m², dans la frange haute des standards tertiaires), mais plus ce genre de construction se développera, plus des économies d'échelle pourront être réalisées. »

Jean-Yves Michaud >

Co-Responsable BU Travaux neufs du groupe Olga

Architectes

«L'extension du siège du groupe Olga est le premier bâtiment tertiaire d'une telle superficie construit en panneaux préfabriqués de béton de chanvre. Ce matériau étroitement complémentaire au bio-climatisme assure au bâtiment une isolation et une inertie performantes.

Le recours à la préfabrication pour les murs a permis un gain de temps et une sécurisation du planning chantier, ainsi qu'un meilleur confort pour les travailleurs. Les sols, façades et couvertures du bâtiment respirent, absorbent l'humidité et maintiennent une température ambiante stable et continue, été comme hiver, créant ainsi une véritable qualité de vie et de travail en son sein.

Une VMC double-flux assure la ventilation du bâtiment en limitant les déperditions énergétiques, tandis que la toiture supporte une centrale photovoltaïque assurant une production de plus de 13 000 W. Avec le recul, le mur coupe-feu 2 h entre l'entrepôt mitoyen et les bureaux pourrait maintenant être réalisé aussi en ossature bois et béton de chanvre, car l'avis de laboratoire justifiant ce degré coupe-feu a été délivré depuis la fin du chantier. »

Christine Koutev >

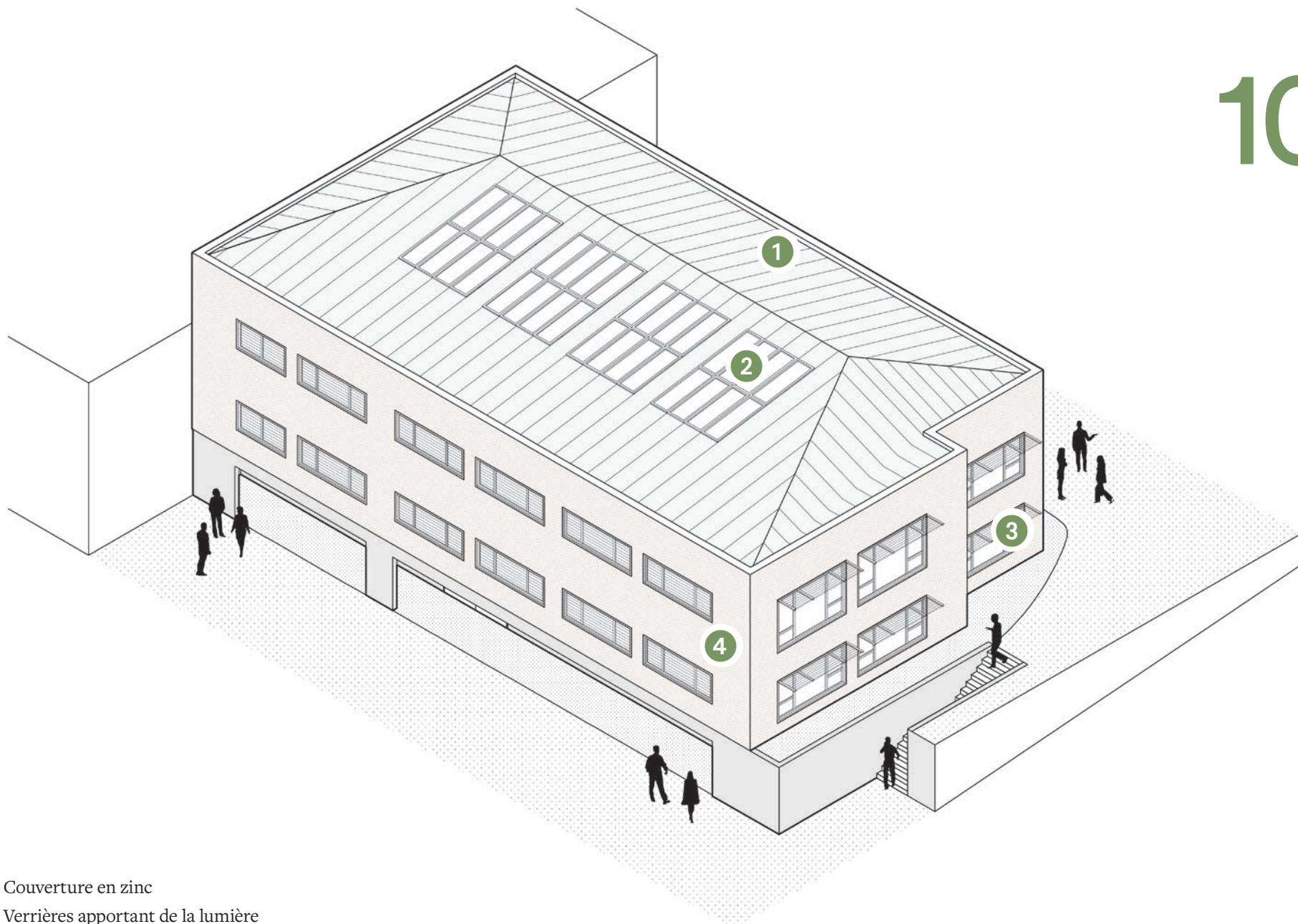
Architecte, Koutev Architecture

Quentin Pichon >

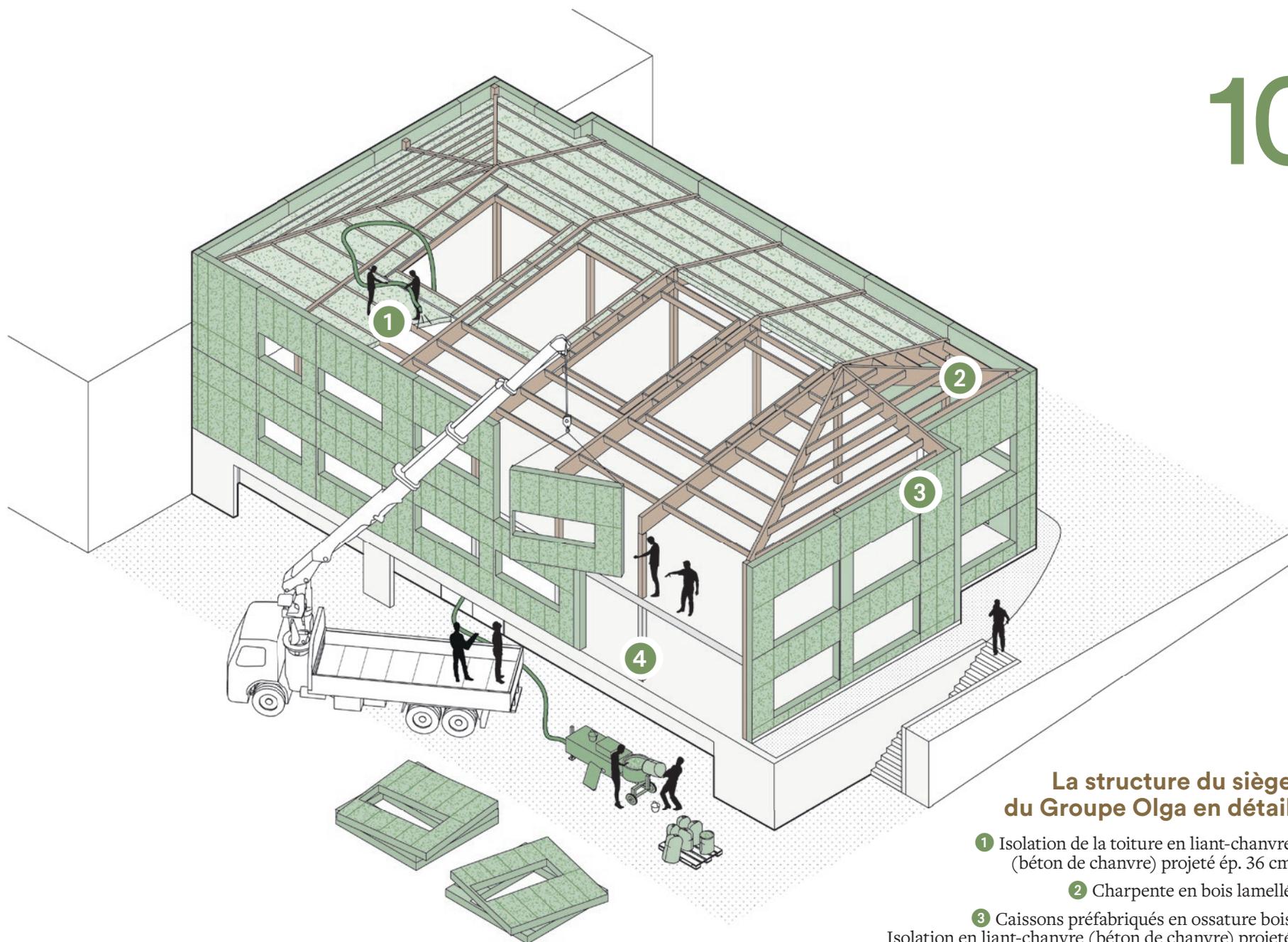
Ingénieur-architecte, CAN-ia

10





- ① Couverture en zinc
- ② Verrières apportant de la lumière naturelle dans les espaces intérieurs
- ③ Brise-soleil
- ④ Enduit extérieur chaux-sable ép. 20 mm



La structure du siège du Groupe Olga en détail

- ① Isolation de la toiture en liant-chanvre (béton de chanvre) projeté ép. 36 cm
- ② Charpente en bois lamellé
- ③ Caissons préfabriqués en ossature bois Isolation en liant-chanvre (béton de chanvre) projeté ép. 20 cm et fibre de bois rigide enduite ép. 8 cm
- ④ Structure poteaux-poutres en béton

Conclusion



Pour répondre aux enjeux de la transition environnementale, et construire, demain, une ville plus sobre en carbone, l'alliance est la clé de voute de la réussite. Alliance des acteurs, alliance des solutions constructives, qui plus est, comme le démontre cet ouvrage, alliance des matériaux biosourcés.

Les performances, notamment mécaniques, et la solidité du bois en font une solution structurale évidente. Elle se mixe idéalement avec les « champions de l'enveloppe » que sont les biosourcés isolants. Cette alliance porte des solutions « bas carbone », renouvelables et surtout techniquement efficaces. Elle offre également une qualité de vie indéniable et largement exprimée dans ces pages par les utilisateurs.

Les composants, en structure, en enveloppe, en menuiserie, en agencement... s'appuient sur une fabrication industrialisée, permettant ainsi un large développement pour répondre dans les années à venir aux attentes croissantes du marché. En outre, de nombreux systèmes (et la quasi-totalité des solutions montrées dans les retours d'expérience) ont fait la preuve de leur fiabilité et appartiennent aujourd'hui au domaine de la traditionnalité.

La prochaine étape appartient désormais aux concepteurs et aux maîtres d'ouvrage, pour massifier le recours à ces solutions et construire mieux : pour la planète et ses habitants.

Béton... Métal... Bois... Biosourcés...

L'étape suivante se déroulera avec chacun de vous,
pour imaginer plus loin la mixité de demain.

Remerciements

Cet ouvrage a été réalisé à l'initiative de l'Union des Industriels et Constructeurs Bois (UICB), avec le soutien du CODIFAB et en partenariat avec le ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, InterChanvre, l'UMB-FFB, Construire en Chanvre, le Collectif des Filières Biosourcées du Bâtiment.

Il est le fruit d'un travail collectif, mené par une équipe pluridisciplinaire, que nous remercions ici pour son implication et sa volonté de transmettre ses expériences et connaissances :

Dominique COTTINEAU, UICB
Nathalie FICHAUX, Interchanvre
Laure TRANNOY, DHUP,
ministère de la Transition écologique
et de la Cohésion des territoires
Cécile RICHARD, UMB-FFB
Mathis RAGER, Anatomies d'Architecture
Raphaël WALTHER, Anatomies d'Architecture
Bertrand GAUTHIER, UICB
Clément QUINEAU, UICB
Rodolphe MAUFRONT, UMB-FFB
Yves HUSTACHE, Karibati
Valérie FLAMAND, Hello Revolution
Florence FERNANDEZ
Claire LELOY, MEDDLE

De nombreux professionnels (architectes, maîtres d'ouvrage, industriels, photographes, utilisateurs des bâtiments) ont mis à disposition leurs compétences, leurs images ou leur expérience :

Antoine Béal, Ludovic Blanckaert, Justine Labérenne & Laurie Mailliard, Béal & Blanckaert Architectes Urbanistes - Benoit Garet, SMart - Juliette Cheval & Sébastien Nicot, Polygraphik - Marine Jacques-Leflaive & Emmanuel Dupont, Atelier Zéro Carbone Architectes - François Scherer, SCIA & V - Liliane Walaine - Jib Peter, Photographe - Esther Moquet & Nicolas Bely, Communauté de Communes des Pyrénées Catalanes - Hervé Meyer, Apache Architectes - Adria Goula, Photographe - Alice Pamela, Architecte - Adrien Pamela - Rémy Castan, Photographe - Fantin Moreau, Ulteria - Gwendoline Martin, Mobilwood - Florent Demay, HVR Architectes Associés - Adrien Biggi, Immobilière 3F - Christine Désert & Richard Thomas, North by Northwest Architectes - Aïcha Tghmi - Cécile Septet, Photographe - Bruno Colin & Sébastien Deslandes, Paris Habitat - Nadia Ahmed-Fouatih, Crous - Sandra de Giorgio & Adrian Monticelli, NZI - Valécien Bonnot-Galluci - Assia Massaody - Juan Sepulveda, Photographe - Alexis Toureau, Photographe - Jean-Luc Loichon, Mairie de Langueux - Pierre Béout & Vincent Masson, Nunc Architectes - Michel Kerjean - Patrick Miara, Photographe - Jennifer Le Roux, Ville de Saint-Lô - Marc Nicolas, Marc Nicolas Architectures - Damien Pierrard, Groupe Scolaire S. Beckett - Charly Broeyz, Photographe - Jean-Yves Michaud, Groupe Olga - Christine Koutev, Koutev Architecture - Margaux Pétilion, Quentin Pichon & Baptiste Chauvet, CAN-ia - Christiane Baroche & Jean-Marc Tavernier, Office national des forêts - Vincent Lavergne, V. Lavergne Architecture Urbanisme - Samuel Poutoux, Atelier WOA - Tom Gueugnon - Sergio Grazia, Photographe - Axel Schoenert & Agathe Petit, Axel Schoenert Architectes - Simon Guesdon, Photographe - Steven Ware, Éric Perraudin & Kevin Guidoux, Artbuild - Tristan Deschamps, Photographe - Philippe Lamarque & Arthur Cordelier, Wall'Up Préfa - Bernard Valero & Cédric Gauthier, Valero Gadan Architectes & Associés - Thomas Tardivel, Bouygues Construction - Soprema - Buitex - Biofib

Financé par :



À l'initiative de :



En partenariat avec :



Imprimé à 1 000 exemplaires en Septembre 2022.

Imprimé en France par Suisse Imprimerie, groupe Sprint, selon le cahier des charges du label Imprim'vert, sur un papier FSC, certifié issu de forêts durablement gérées.

