

# GUIDE CONSTRUCTION PAILLE

## A DESTINATION DE LA COMMANDE PUBLIQUE





# EDITO



**Cher Lecteur,**

Nous sommes heureux de vous présenter le YEARBOOK final version française, publié dans le cadre du projet Interreg NWE UP STRAW (2017-2021).

Le thème de cette publication est « les marchés publics et la construction en paille ».

Nous espérons, au travers de cet ouvrage, vous informer mais surtout vous inspirer sur les multiples avantages et possibilités d'utilisation de la paille dans les bâtiments publics.

Vous y trouverez des retours d'expérience de constructions et rénovations de bâtiments avec de la paille, via des procédures de marché public, mais également des ressources utiles pour vous aider à prescrire ce matériau dans vos cahiers des charges.

Il s'agit d'un travail collaboratif des partenaires du projet UP STRAW (Allemagne, Belgique, France, Pays-Bas, Angleterre), et dont les textes ont été traduits en français.

Nous vous souhaitons une bonne lecture !

Les partenaires du projet UP STRAW



# TABLE DES MATIÈRES

<b>01. Introduction</b> .....	P4	<b>06. Informations pour se familiariser</b> .....	P54
<b>02. La construction paille</b> .....	P8	<b>07. Outils pour préparer votre marché</b> .....	P56
<b>03. Types de bâtiments</b> .....	P12	<b>08. Pour aller pour loin</b> .....	P58
<b>04. Focus écoles</b> .....	P18	Les règles professionnelles .....	P59
École secondaire Notre-Dame de Bon Secours (BE) .....	P19	Analyse du cycle de vie .....	P60
Ecole maternelle Victor Schoelcher (FR) .....	P22	Préfabrication et en paille .....	P64
Ecole et collège Emmanuel d'Alzon (FR) .....	P25	Insufflation en paille .....	P70
<b>05. Marchés publics</b> .....	P30	<b>09. Le projet Interreg NWE UP STRAW</b> .....	P74
Bureaux du Cluster Eco-construction (BE) .....	P34	<b>10. Copyrights</b> .....	P76
Hall de sport De Roomley (NL) .....	P38	<b>11. Colophon</b> .....	P77
Centre de visiteurs de Hastings (UK) .....	P42	<b>12. Notes</b> .....	P78
Maison Feuillette (FR) .....	P46		
Abbaye Bénédictine de Plankstetten (DE) .....	P50		



## INTRODUCTION

Notre société fait face à de nombreux défis tant économiques, sociaux qu'environnementaux. A la croisée de ces thématiques, l'éco-construction et plus spécifiquement la construction paille propose des solutions s'inscrivant dans un développement économique de qualité, un bien-être social et le respect de l'environnement.

En tant que mandataire public ou en tant qu'agent actif au sein d'un pouvoir régional ou local, votre rôle est essentiel. C'est lorsque les pouvoirs publics prennent conscience que des réformes profondes sont nécessaires qu'ils impulsent des actions concrètes, s'inscrivant dans la durée et devenant ainsi la norme. Le changement est nécessaire, s'il est synonyme d'évolution positive. Or, de nombreuses avancées sont possibles et souhaitables dans le domaine de la construction, un secteur dont les impacts influent directement sur notre qualité de vie et celle des générations futures.

Nos régions disposent de ressources, d'entreprises et de savoir-faire pour répondre à la demande de constructions innovantes, bénéfiques à un développement durable du tissu économique. Mais bien trop souvent, les projets vont chercher ailleurs ce que nous produisons ou pourrions produire localement.

Les marchés publics sont un réel moteur pour le secteur de la construction. Ils peuvent jouer un rôle essentiel dans la valorisation des ressources et des entreprises locales.

Nous vous présentons dans cette introduction les avantages de la construction paille et les raisons pour lesquelles il est nécessaire, voire indispensable, de l'intégrer à nos bâtiments.



### **L'éco-construction : une tendance de fond, mais...**

Ces dernières années ont vu un intérêt grandissant de différents publics envers des solutions plus respectueuses de l'environnement. Le secteur de la construction et ses matériaux ne font pas exception.

En premier lieu, l'économie d'énergie. Le prix des énergies et les réglementations de plus en plus exigeantes conscientisent progressivement les candidats bâtisseurs et rénovateurs : un bâtiment consommant peu d'énergie est devenu une exigence minimale.

Ensuite, les aspects liés à la santé, sont de plus en plus présents dans le choix des matériaux. Manipuler des produits agréables au toucher et surtout sans risques pour la santé n'est plus un luxe. Mais surtout, une partie du public a compris le bénéfice de vivre dans une atmosphère saine.

Enfin, la tendance de fond du « slow » touche également le secteur de la construction. Pourquoi acheter des produits fabriqués à l'autre bout du monde alors que des produits à faibles impacts sont produits localement ?

C'est l'économie en circuit court, avec des bénéfices importants pour le développement économique d'une région qui se voit ainsi renforcée.

Cependant, malgré des entreprises à la pointe de la technique, le volume des éco-matériaux utilisés en construction et en rénovation reste encore faible (- de 10%) par rapport aux matériaux issus de la pétrochimie. Le secteur est en effet freiné, victime d'idées reçues et d'a priori divers, notamment sur la qualité et les performances. Le renforcement de la sensibilisation et de la communication est indispensable pour développer l'utilisation des éco-matériaux et, plus particulièrement, de la paille en construction et en rénovation.

### **Pourquoi choisir la construction en paille ?**

La construction en paille offre des réponses concrètes pour obtenir des bâtiments performants, économiques, confortables, durables et avec peu d'impacts négatifs sur l'environnement. L'idée de construire ou de rénover avec de la paille n'est pas neuve en soi. Des bâtiments parmi les plus durables, présents depuis plusieurs générations, sont là pour rappeler que

l'utilisation ce matériau est garante de qualité. C'est le cas notamment de la célèbre maison Feuillette à Montargis (France), réalisée en 1920.

Nous avons simplement oublié pendant un laps de temps que notre ADN de bâtisseurs s'exprime de manière optimale en lien avec la nature. L'ère de la reconstruction rapide qui a suivi la seconde guerre mondiale a consacré des matériaux largement disponibles à faibles coûts mais fortement émetteurs de CO<sub>2</sub> et consommateurs de ressources non renouvelables. A tort. La dégradation rapide de certains ouvrages et l'épuisement des matières premières non renouvelables, telle que le sable, nous rappellent que d'autres voies sont possibles.

### **Des performances techniques de premier plan**

- La paille isole parfaitement

La paille permet de concevoir des parois dont la résistance thermique est très importante. Les exemples de bâtiments passifs en paille sont maintenant nombreux et leurs performances sont mesurées et avérées.

- La paille régule l'humidité

La gestion de l'humidité d'un bâtiment dépend de plusieurs facteurs : l'utilisation qui en est faite, une ventilation régulière et adaptée, mais aussi les matériaux qui le composent. La paille et les isolants biosourcés en général absorbe et restitue l'humidité de manière plus importante que les matériaux minéraux ou synthétiques.

- La paille ne comporte aucun Composé Organique Volatil (COV)

C'est un fait reconnu, l'air intérieur des bâtiments est plus pollué que l'air extérieur, alors que nous passons la quasi totalité de notre temps dans des lieux fermés. Des projets de recherche ont démontré les conséquences potentielles sur la santé liées à cette pollution, et ont identifié la présence de COV dans l'air intérieur comme un facteur particulièrement nocif.

- La paille est résistante

La paille offre des niveaux de sécurité incendie équivalents voire supérieurs aux matériaux conventionnels. Un mur paille enduit d'argile sur les deux

faces atteint des résistances au feu de 1h30 à plus de 2h. De plus, la paille ne dégage pas de gaz toxiques en cas d'incendie, ce qui est vital car la plupart des lésions et des décès sont liés à l'inhalation et à l'asphyxie et non pas au feu lui-même.

- La paille offre un confort thermique et acoustique

La stabilité de température est un élément clef du confort d'un bâtiment. Le mur paille avec enduit procure un grand confort thermique. Étant très isolant, il n'y a pas d'effet de paroi froide et pas de surchauffe en été. Les éco-matériaux sont, de manière générale, de très bons absorbants acoustiques. Ils contribuent à une ambiance sereine au sein du bâtiment.

### **Développement économique local et valorisation des filières**

Nos régions disposent de nombreuses ressources naturelles avec un vaste potentiel de développement économique. La plupart des constructeurs de bâtiment bois/paille trouvent leurs fournisseurs de ballots de paille dans un rayon de quelques dizaines de kilomètres autour de l'atelier, nécessitant ainsi peu de transports. Cette filière peut contribuer directement à la transition écologique du bâtiment sans affecter les filières agricoles ou les autres usages de la paille. Il s'agit d'une diversification et d'un complément de revenus pour le monde agricole.

### **Confort et santé**

Un bâtiment sain et confortable devrait être un droit et non un luxe. L'étude réalisée par Approche-Paille en 2018 montre que 93% des utilisateurs de bâtiments en paille sont satisfaits, voire très satisfaits du confort d'été de leur bâtiment. Or, depuis que les bâtiments sont bien isolés, le confort d'hiver n'est plus un problème, mais les surchauffes estivales sont devenues un enjeu important qui doit être anticipé maintenant car les périodes de canicule sont de plus en plus fréquentes.

### **Bénéfices environnementaux**

Les impacts sur l'environnement d'un bâtiment s'étendent bien au-delà des consommations énergétiques liées à son fonctionnement. L'extraction, la



transformation, la mise en œuvre des matériaux de construction entraînent eux aussi des consommations importantes de ressources et d'énergie. Sans compter la future fin de vie du bâtiment et les coûts liés à la déconstruction et au traitement des déchets éventuels. Il s'agit donc d'être vigilant à la charge environnementale des matériaux mis en œuvre.

Des produits comme le bois, la paille et l'argile permettent de construire des bâtiments à la fois économes en énergie et très sobres au niveau de leur impact environnemental. En fin de vie, le bois pourra être récupéré ou incinéré, la paille sera compostée, et l'argile pourra être épandue au sol.

### **Comment encourager la construction paille en tant que pouvoir public ?**

Nous venons de le démontrer : les choix effectués en matière de bâtiments influencent sur le développement de notre société. La construction paille a aujourd'hui besoin de davantage de projets et de reconnaissance pour être plus largement diffusée. Les acteurs publics, en tant que prescripteurs, bâtisseurs et utilisateurs de bâtiments, peuvent y contribuer pour une large

part et montrer l'exemple. Ils disposent des outils nécessaires pour construire aujourd'hui les bâtiments exemplaires qui seront la norme demain.

Les marchés publics ont un impact très important pour le secteur de la construction et constituent un levier par lequel les administrations peuvent favoriser une économie locale durable et forte. La commande publique de bâtiments éco-construits exemplaires en paille peut entraîner la demande d'autres prescripteurs et donc créer un effet boule de neige positif pour le secteur.

Dans les pages qui suivent, vous découvrirez 5 bâtiments exemplaires construits ou rénovés en paille, soumis aux procédures de passation de marchés publics.

Nous vous présenterons également des outils développés par les partenaires du projet Interreg NWE UP STRAW, pour vous encourager à modifier votre manière de construire : locale, qualitative et respectueuse de l'environnement.



## LA CONSTRUCTION PAILLE

La paille est recueillie chaque année, après la récolte des céréales. Il s'agit de la tige de la plante (blé, seigle ou orge). Elle est généralement utilisée sous forme de bottes de différentes densités en fonction des usages et permet d'isoler toitures, murs et planchers. Une maison individuelle représente l'équivalent de 500 bottes de paille soit la production de 2,5 hectares de champs. Il n'y a donc pas de conflit avec les besoins agricoles en paille.

Par ailleurs, la paille étant un coproduit de l'agriculture, elle n'immobilise pas de surfaces dédiées à la production alimentaire. Et avec un taux de prélèvement limité et des rotations de cultures, les champs conservent toutes leurs qualités agronomiques. Pour le monde agricole, il s'agit donc d'une diversification et d'un complément de revenus.



**AVEC 5%  
DE LA  
PRODUCTION  
DE PAILLE  
FRANÇAISE**



**TOUS  
LES LOGEMENTS  
CONSTRUITS EN  
FRANCE PAR AN  
(ENVIRON 430 000)**



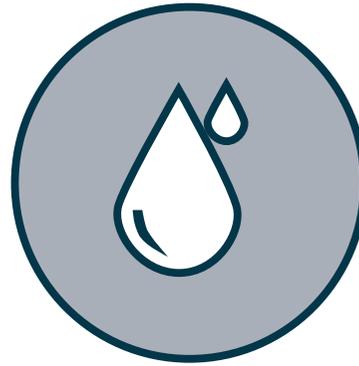
## LES RONGEURS FONT-ILS DES DÉGÂTS DANS UN MUR EN PAILLE ?

**NON**

La paille est la tige de la céréale dépourvue de ses grains, ce qui ne présente aucun intérêt alimentaire pour eux.

De plus, la paille est bien protégée par des enduits ou des parements adéquats. Une mise en œuvre correcte empêche les intrusions.

L'avantage avec la botte de paille, c'est que sa forte densité rend beaucoup plus difficile la construction de galeries que dans des isolants peu denses.



## LA PAILLE CRAINT-ELLE L'HUMIDITÉ ?

**NON**

Correctement mise en œuvre, la paille ne craint pas l'humidité. Pour un bâtiment de qualité, il est nécessaire de respecter les règles de stockage et de mise en œuvre décrites dans les Règles Professionnelles de construction en paille\*. L'un de ses avantages justement, est d'être un matériau perspirant\*\* et hygroscopique, c'est à dire qu'il absorbe et évacue l'humidité.

Les maisons construites à la fin du XIXe siècle, toujours habitées aujourd'hui, sont la preuve de la durabilité de la construction paille.

\* Règles CP 2012 révisées, 3ème édition. Le Moniteur, avril 2018

\*\* Facteur de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau  $\mu = 1,04$

<http://go.rfcp.fr/RapportsDEssais>



## LA PAILLE EST-ELLE PLUS INFLAMMABLE QU'UN AUTRE ISOLANT ?

**NON**

Car pour qu'un objet brûle il lui faut de l'oxygène. Une feuille de papier brûle aisément contrairement à un livre qui se consumera lentement. Il en est de même pour la paille qui, compressée en bottes denses, ne s'enflamme pas mais se consume très lentement, en ne dégageant qu'une faible quantité de fumée, facteur important pour la sécurité des individus.

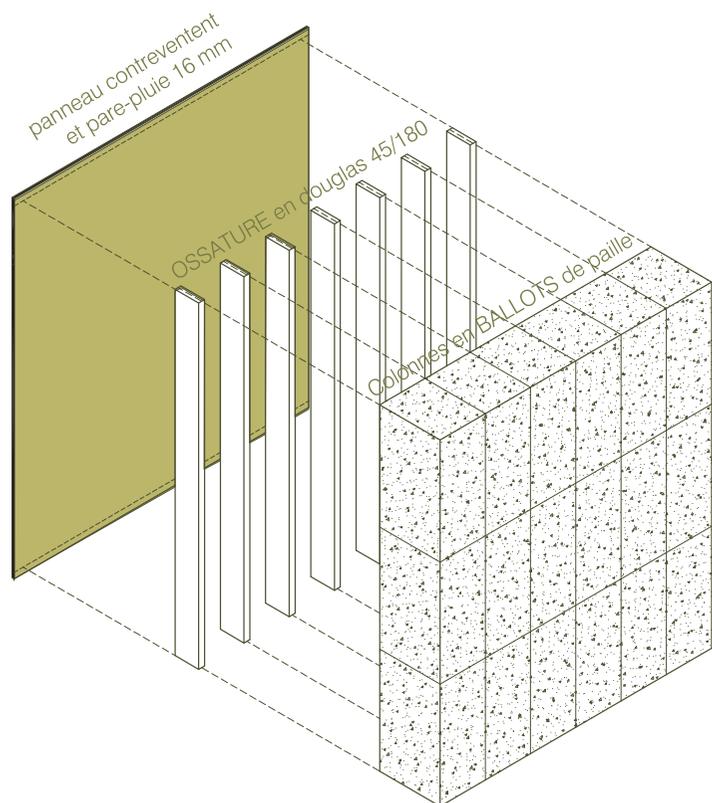
Des essais de réaction au feu menés en France et à l'étranger attestent que les murs en paille sont conformes aux exigences réglementaires\*.

\* Classement de réaction au feu (EN 13501-1:2007) : B-S1-d0

<http://go.rfcp.fr/RapportsDEssais>

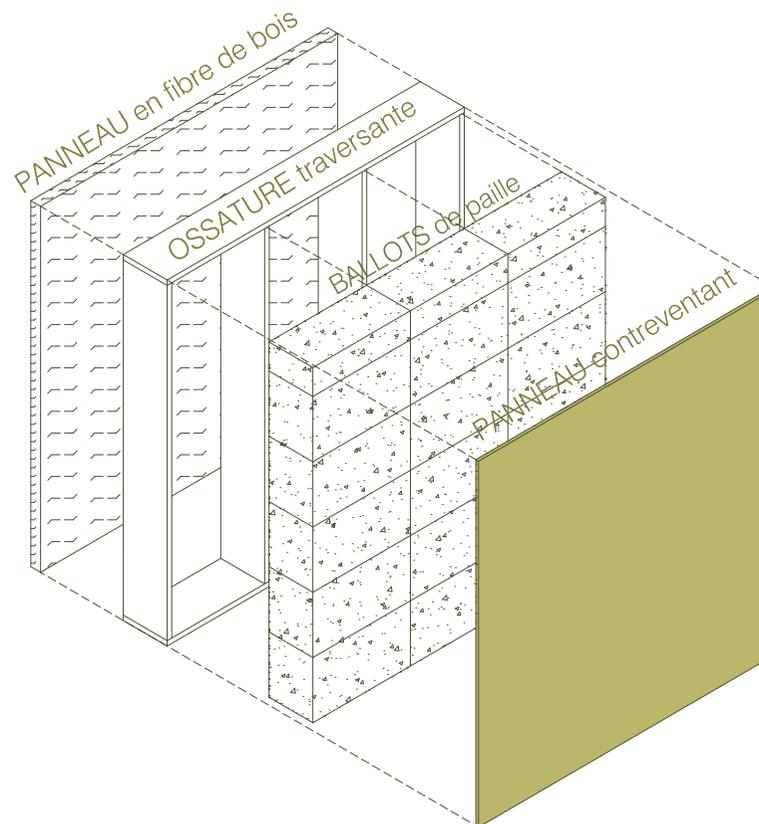
# LES TECHNIQUES DE CONSTRUCTION

## REPLISSAGE D'OSSATURE BOIS



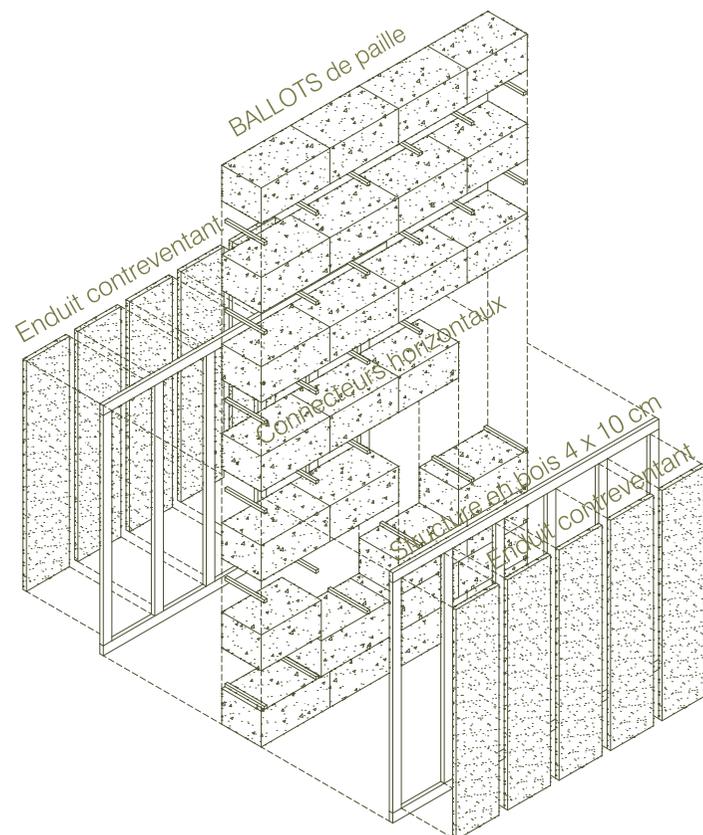
La structure du bâtiment est assurée par une ossature bois traditionnelle composée de montants de sections standards 38x140mm ou 45x120mm. Les bottes de paille sont insérées entre les montants. Leur épaisseur étant plus importante que les montants, ces derniers peuvent être positionnés du côté intérieur, extérieur ou au milieu en fonction des choix de parement : enduit, panneau ou bardage. Cette technique est utilisée en préfabrication ou in situ.

## OSSATURE TRAVERSANTE



L'ossature est de l'épaisseur du ballot de paille ce qui permet de refermer la structure avec des panneaux sur chaque face du ballot, tout comme la plupart des ossatures bois conventionnelles. Les ballots sont insérés en force, par colonne de un ou deux ballots de large. De grands caissons sont donc préfabriqués, transportés et posés directement sur chantier. Cette technique est relativement simple à mettre en œuvre mais l'utilisation d'enduits de finition épais est compliquée par la présence des extrémités des poutres à la surface des bottes.

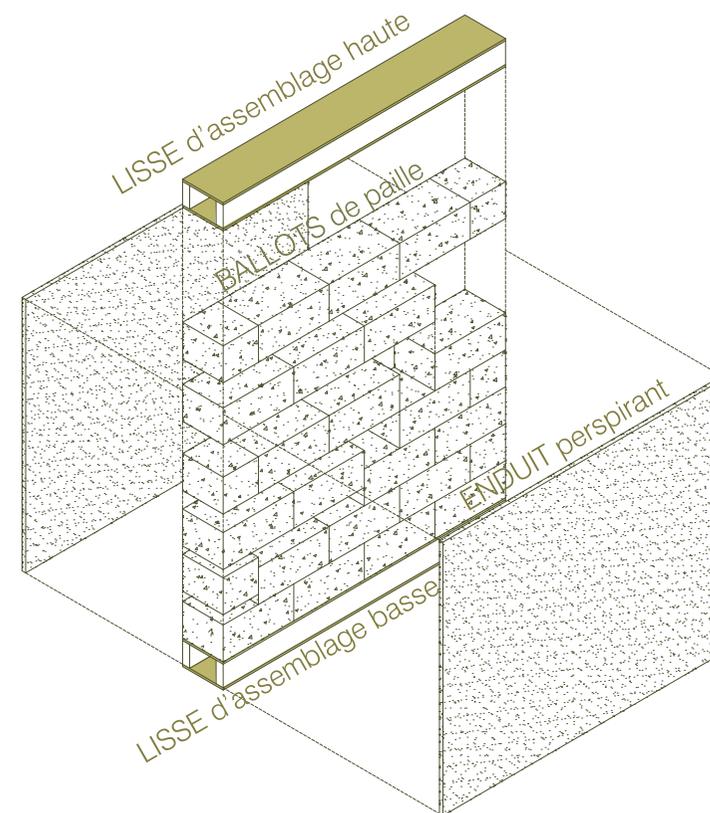
## TECHNIQUE GREB



Cette technique est une adaptation du système à ossature bois. Elle repose sur une double ossature en bois, espacée de l'épaisseur du ballot. Les ballots sont empilés à plat – maçonnerie en quinconce – à l'intérieur de la double ossature.

L'ossature, en surépaisseur de chaque côté du ballot, sert de support de coffrage. Un enduit est alors coulé sur chaque face du ballot dans l'épaisseur des ossatures.

## PAILLE PORTEUSE



Cette technique n'utilise pas de structure en bois, elle n'est donc pas encadrée par les Eurocodes. Les ballots de paille sont empilés et liés entre eux par des connecteurs verticaux. Ils sont montés sur un étage, et ensuite comprimés à l'aide de sangles, entre la lisse haute et la lisse basse. La lisse haute sert de support de répartition aux appuis du plancher ou de la toiture. Les murs sont enduits après tassement naturel ou forcé (environ 10 %).



## TYPES DE BÂTIMENTS

Utilisée depuis des siècles, la paille est un matériau de construction qui, correctement mis en œuvre, vaut largement la brique ou le béton, et les dépasse même sur certains critères : peu coûteuse, issue d'une source renouvelable et locale, disponible en abondance, sans conflit avec les besoins agricoles, aisément recyclable, la paille permet en outre de stocker efficacement le CO<sub>2</sub>.

Les épaisseurs usuelles des bottes de paille utilisées en construction (36/46 cm) permettent d'atteindre des résistances thermiques compatibles avec les objectifs de bâtiments passifs. D'un point de vue normatif, la construction en paille bénéficie, depuis plusieurs années, d'un référentiel technique reconnu par des centres nationaux actifs dans la qualité de la construction.

On peut construire tout type de bâtiment en paille : logements individuels

et collectifs, établissements recevant du public, bâtiments tertiaires, établissements d'enseignement, bâtiments agricoles ou industriels. Il existe même une caserne de pompiers à Nancy et un entrepôt de stockage de produits explosifs à Valenciennes.

Au niveau de la sécurité incendie, il est possible d'atteindre des résistances au feu de 60 à 120 minutes avec des murs de paille enduits d'argile, ce qui est compatible avec les exigences les plus strictes de la réglementation incendie

Il n'y a pas de limite en ce qui concerne la hauteur du bâtiment, puisque celle-ci est assurée par de la structure qui porte le bâtiment et non de l'isolant. La seule limite à la construction en paille sont les bâtiments qui ont un usage avec conditions d'humidité spécifiques. Il s'agit de milieux très humides comme des piscines.

## MAISON INDIVIDUELLE



### EN BREF

#### TYPE DE PROJET

Neuf

#### MAÎTRISE D'OUVRAGE

Yoann Verminck

#### MAÎTRISE D'OEUVRE

Paille-Tech

#### BUREAUX D'ÉTUDES TECHNIQUES

Bureau d'Architectes Desmedt Purnelle

#### ANNÉE DE CONSTRUCTION

2016

#### SURFACE (UTILE)

200 m<sup>2</sup>

#### COÛT (€ HTVA/M<sup>2</sup>)

1.250 €/m<sup>2</sup>

#### CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE (PEB)

13 KWH/m<sup>2</sup>.an pour le chauffage

#### LOCALISATION

Sombreffe - BE

13



Cette maison à l'architecture contemporaine ressemble à une maison normale, mais elle possède de nombreux avantages : techniquement bien pensée, agréable à vivre, économe en énergie et respectueuse de l'environnement. Construite selon la norme passive, la température tourne toute l'année autour des 21 C°. La construction en bois paille - argile offre un confort inégalable à ses occupants. Grâce à leur composition en matières biosourcées, alliant une forte isolation à une bonne inertie, les murs possèdent une chaleur naturelle, un ressenti très différent de la pierre ou du béton.

# MUSÉE



## EN BREF

### TYPE DE PROJET

Principalement neuf

### MAÎTRISE D'OUVRAGE

Préhistomuseum asbl & commune de Flémalle

### MAÎTRISE D'OEUVRE

Atelier d'Architecture AIUD/ Gil Honoré

### BUREAUX D'ÉTUDES TECHNIQUES

Bureau Greisch

### ANNÉE DE CONSTRUCTION

2016

### SURFACE (UTILE)

3 030 m<sup>2</sup>

### COÛT (€ HTVA/M<sup>2</sup>)

1 438 €/m<sup>2</sup>

### CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

Niveau PEB «K16»

### % D'AMÉLIORATION ÉNERGÉTIQUE

64% par rapport à la réglementation PEB

### LOCALISATION

Flémalle - BE



Ce projet révèle une attention particulière aux modes constructifs et aux matériaux utilisés, et ce afin de minimiser l'énergie grise, l'impact CO<sub>2</sub> et de favoriser les circuits courts de consommation. Le hors-sol du bâtiment d'exposition-conservation est entièrement réalisé en ossature bois remplie de paille, avec une finition des murs en terre côté intérieur. La terre participe naturellement à la stabilisation hydrique de l'ambiance et permet ainsi, avec l'inertie thermique et l'isolation, de réduire les besoins en climatisation et d'assurer une bonne conservation des œuvres en conservant des conditions hygrothermiques stables.

## RESTAURANT



## EN BREF

## TYPE DE PROJET

Neuf/rénovation/extension

## MAÎTRISE D'OUVRAGE

Vert autre chose – Gaetan Leconte / Yves Windal

## MAÎTRISE D'OEUVRE

AAIA

## BUREAUX D'ÉTUDES TECHNIQUES

Paille-Tech, Roof construct, Lecroart, Climawest  
HVAC et Lafosse

## ANNÉE DE CONSTRUCTION

2018

## SURFACE (UTILE)

303,94 m<sup>2</sup>

COÛT (€ HTVA/M<sup>2</sup>)

1 980 €/m<sup>2</sup>

## CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE (PEB)

/

## LOCALISATION

Mouscron - BE



Le projet vise l'accueil d'un club de marche nordique, d'un magasin de sport et d'un restaurant. Le maître d'ouvrage a souhaité l'utilisation maximale de matériaux sains, naturels et renouvelables (bois et paille) tout en respectant son enveloppe budgétaire. N'ayant pas l'assurance de la pérennité de son activité, le projet est conçu pour éventuellement être transformé en un ensemble de trois maisons unifamiliales. Le recours à la préfabrication et le prédécoupage de la charpente a permis un chantier rapide d'à peine 3 semaines pour le montage de la superstructure.

## COMMERCE



## EN BREF

### TYPE DE PROJET

Neuf

### MAÎTRISE D'OUVRAGE

La Ferme à l'Arbre de Liège

### MAÎTRISE D'OEUVRE

Atelier d'Architecture Alain Richard

### BUREAUX D'ÉTUDES TECHNIQUES

Bureau Greisch

### ANNÉE DE CONSTRUCTION

2012

### SURFACE (UTILE)

1 000 m<sup>2</sup>

### COÛT (€ HTVA/M<sup>2</sup>)

1 000 €/m<sup>2</sup>

### CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE (PEB)

/

### LOCALISATION

Lantin - BE



Via des techniques d'éco-construction, ce projet généralise l'emploi de matériaux sains, respectueux de la santé et de l'environnement et peu énergivores. La structure principale et la charpente sont en bois résineux du pays avec une priorité donnée au bois d'œuvre massif. Le partitionnement intérieur des zones de stock et de travail est en maçonnerie lourde traditionnelle, alors que l'ensemble de l'enveloppe est fermée par des murs en ballots de paille, préassemblés dans des cadres en bois et recouverts sur leurs deux faces d'un enduit à la terre.

### TYPE DE PROJET

Neuf

### MAÎTRISE D'OUVRAGE

Le Toit Vosgien

### MAÎTRISE D'OEUVRE

ASP Architecture

### BUREAUX D'ÉTUDES TECHNIQUES

Terranergie

### ANNÉE DE CONSTRUCTION

2013

### SURFACE (UTILE)

2 707 m<sup>2</sup>

### COÛT (€ HTVA/M<sup>2</sup>)

1 576 €/m<sup>2</sup>

### CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE (RT2012)

37 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.an

### LOCALISATION

Saint-Dié-des-Vosges - FR



Bois massif pour la structure et paille pour l'isolation d'un bâtiment de 26 logements sociaux sur 8 étages ! En tout, 700 caissons de bois préfabriqués de 40 cm d'épaisseur, renfermant l'isolant, ont été assemblés en seulement 12 mois de chantier. La résidence dispose de nombreux équipements afin d'assurer des performances environnementales de premier plan et un confort de vie pour ses occupants. Et avec 95% des besoins en énergie produits par les équipements mis en place, les charges pour les locataires sont très faibles.



## FOCUS ÉCOLES

La paille permet de construire des bâtiments performants, à haute qualité environnementale et sains. La qualité de l'air est un enjeu pour les lieux de vie et d'apprentissages : en France, de plus en plus de crèches et d'établissements scolaires sont construits en bois/paille. Mais au-delà de l'aspect santé et environnement, c'est également une excellente manière de sensibiliser les jeunes générations en leur montrant qu'il est possible de construire des bâtiments qualitatifs et performants avec des matériaux peu transformés et locaux.

La création de places dans les écoles est un enjeu pour les années à venir. La préfabrication en bois/paille présente de nombreux avantages et permettrait de répondre à ce défi tout en développant une économie locale.

Le terme « préfabrication » renvoie souvent, dans l'inconscient collectif, à des bâtiments aux matériaux peu qualitatifs, "assemblés au lance-pierre", et à la durée de vie n'excédant pas celle d'une caravane. C'est tout l'inverse de la préfabrication paille ! À l'abri des aléas de chantier, la phase de l'atelier permet justement une plus grande maîtrise. La préfabrication consiste ici à construire des éléments de parois (murs, planchers, toitures) selon une méthode standardisée assurant une qualité optimale. Ces parois peuvent être semi-finies ou finies avec des enduits ou des parements de finition. Elles sont ensuite transportées et assemblées sur chantier. Les avantages de la préfabrication sont nombreux : absence de contraintes météorologiques, gain de temps, gain de qualité, diminution des nuisances et coûts réduits.



## École secondaire Notre-Dame de Bon Secours (Belgique)

Interview du Sous-Directeur du Collège Notre Dame du Bon Secours à Binche

### Comment avez-vous eu l'idée d'utiliser la de construction paille ?

Le manque de place était devenu problématique dans notre école située en plein centre-ville. Nous avions besoin de locaux supplémentaires : un réfectoire, un local multifonction et des salles de classe. Les travaux avaient à l'époque été prévus en 3 phases étalées sur 20 ans.

C'est lors d'un salon sur le bois que j'ai découvert le système constructif de modules en bois-paille de la société wallonne Paille-Tech. L'idée de travailler avec plusieurs petits modules, qui plus est en bois, paraissait intéressante quand on sait que notre école dispose d'un magnifique parc.

Nous avons rencontré plusieurs sociétés proposant ce type de solutions mais beaucoup de sociétés faisaient venir leurs bois des pays de l'est. Or notre volonté était de travailler avec des entreprises et des matériaux locaux.

Nous avons donc choisi de travailler avec la société Paille-Tech qui avait développé des modules préfabriqués comme solution pour la Fédération Wallonie-Bruxelles pour l'ajout de classes. Afin d'avoir un bâtiment répondant parfaitement à nos besoins, nous avons collaboré avec un architecte qui maîtrisait bien cette technique de construction, Christophe Lootvoet et la société De Graeve.

Le projet a séduit le Conseil d'Administration qui a donné son feu vert.

### C'est une première en Belgique. Était-ce compliqué de mettre sur pied un tel projet ?

Le travail de rédaction du cahier des charges, je ne vais pas vous le cacher, a été long et laborieux. Pour cause, il s'agissait du premier bâtiment scolaire isolé en paille en Wallonie.



Nous avons dû beaucoup travailler avec l'architecte du Secrétariat Général de l'Enseignement Catholique. Des expertises et des tests notamment de résistance au feu ont également dû être réalisés par l'entreprise. Trois ans et trois versions plus tard le cahier des charges était validé.

### Comment s'est déroulé la phase de chantier ?

Très rapide. Tous les éléments de structure avaient été préfabriqués en atelier et donc en 5 mois à peine le bâtiment était achevé. Les congés de Toussaint ont été mis à profit pour l'aménagement intérieur. Outre la rapidité, les avantages de la préfabrication sont la propreté du chantier, le respect des délais et peu de nuisances pour le voisinage. J'ai également apprécié le fait que, malgré l'importance du chantier, le travail des élèves n'ait pas été perturbé.

### Quel accueil le bâtiment a-t-il reçu ?

L'architecte et un membre de la société Paille-Tech sont venus présenter le projet aux élèves et à l'équipe éducative. Tous étaient plutôt curieux au départ. Mais notre volonté, au-delà de la construction du bâtiment

respectueux de l'environnement, était de sensibiliser les jeunes sur ces aspects.

### Quelles différences constatez-vous entre ces nouveaux locaux et les anciens ?

La première impression lorsqu'on entre dans ces bâtiments est incomparable. Les élèves s'y plaisent beaucoup et l'expriment. L'équipe éducative a également remarqué que l'environnement de manière générale est plus agréable dans les nouveaux bâtiments isolés en paille. C'est devenu un endroit très calme et il y règne une ambiance plus zen.

### Après un an et demi d'utilisation, quel est votre retour sur le plan plus technique ?

Le bâtiment est équipé d'une chaudière au gaz qui alimente deux radiateurs par classe. En hiver, les classes atteignent 16 degrés sans chauffage. Le fait que les variations de températures soient peu importantes est un énorme avantage pour un bâtiment scolaire dont l'occupation varie beaucoup. Le premier été il a fait trop chaud dans 4 classes en raison de leur exposition

et des grandes ouvertures vitrées. L'ajout de tentures a permis de résoudre ce problème très simplement.

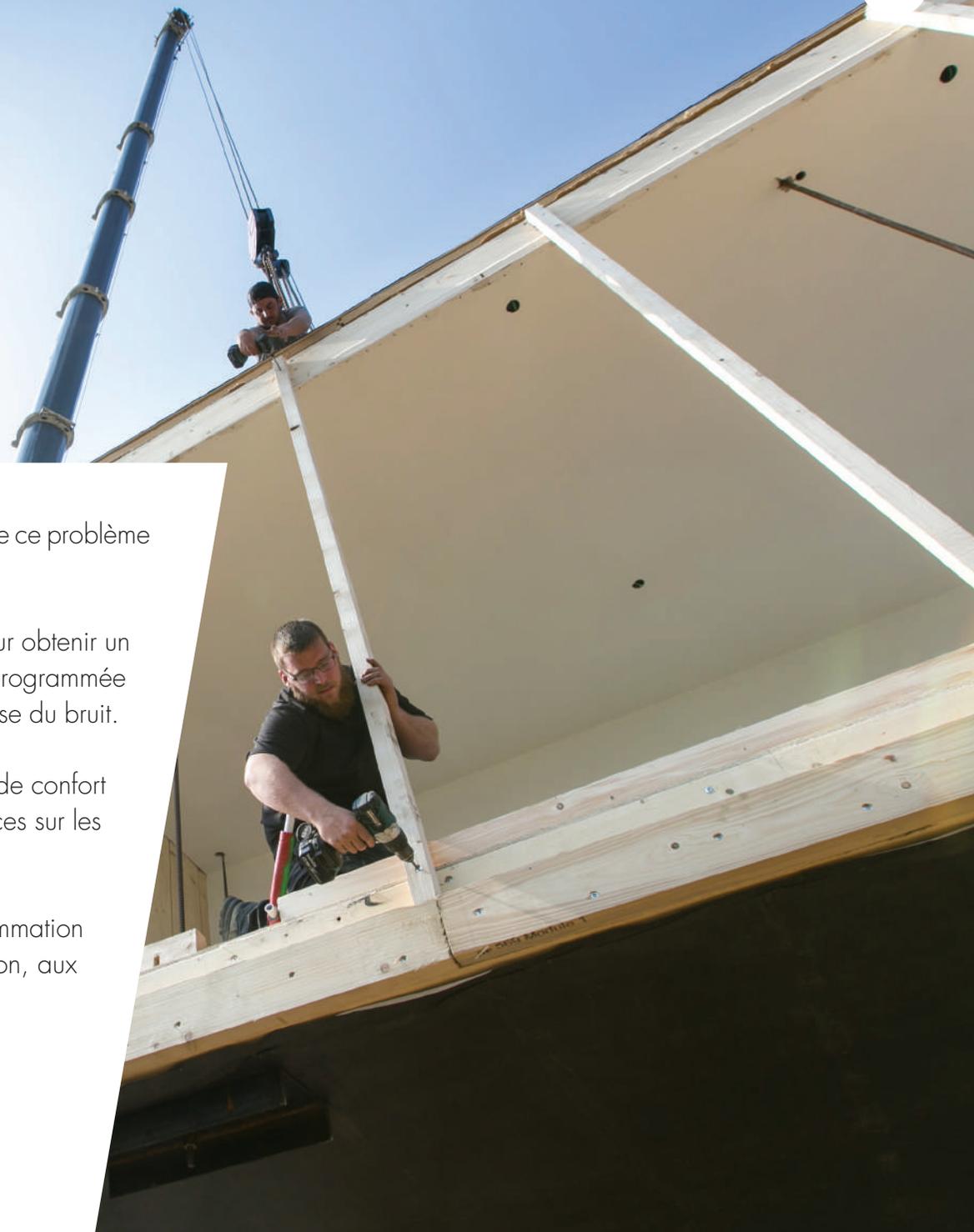
Les locaux étant assez grands, des ajustements ont été nécessaires pour obtenir un confort acoustique optimal. La ventilation double flux a notamment été programmée pour ne fonctionner que lorsque les élèves ne sont pas en classe à cause du bruit.

Les murs intérieurs sont en argile ce qui procure une grande sensation de confort mais nécessite que les élèves soient précautionneux pour éviter les traces sur les murs.

Au niveau maintenance, une formation sur le réglage et la programmation de la ventilation double flux a été dispensée au conseiller en prévention, aux deux ouvriers, à l'économiste à un enseignant et à la direction.

**Si vous deviez caractériser ce bâtiment en 3 mots ?**

Confortable, lumineux, économique.





## Ecole maternelle Victor Schoelcher (France)

Echanges avec Corentin Desmichelle (Atelier Desmichelle).

Cette école maternelle accueille 5 classes et un centre de loisirs depuis 2016. Ossature bois, isolation paille, toiture végétalisée, l'accent a été mis sur l'utilisation de matériaux et de techniques biosourcés.

Le choix du passif et du biosourcé est une proposition du maître d'œuvre lors du concours. Ces choix ont permis une bonne isolation de l'école par rapport aux nuisances urbaines.

Implanté dans la continuité urbaine des maisons du quartier, le volume compact de l'école permet de dégager un maximum de place pour la cour et de conserver les arbres existants, rappel végétal sur cette parcelle qui était avant un square public.

La fonctionnalité, l'ensoleillement, la mécanique des murs et des planchers ont été conçus conjointement afin d'optimiser les matériaux et le mouvement des fluides. L'objectif étant de privilégier un confort intérieur en toutes saisons et des besoins de chauffage ne dépassant pas 15kWh/m<sup>2</sup>/an.

Le rôle du bois (Douglas de Normandie), largement présent, est multiple : il permet de protéger les façades sans qu'elles aient besoin d'être entretenues, de réduire les ponts thermiques structurels et d'offrir un cadre convivial et esthétique. Le choix de la paille (provenant du Loir-et-Cher) sur 40 cm d'épaisseur dans la structure bois permet d'obtenir un confort thermique et acoustique optimal.



Le bâtiment est exposé vers le sud et bénéficie d'un système de renouvellement d'air à double flux à haut rendement de récupération de chaleur. En moyenne, 3 000 m<sup>3</sup> d'air neuf sont régénérés chaque heure.

Les menuiseries bois/alu à triple vitrage accompagnées de protections solaires orientables contribuent à l'isolation thermique.

Le plancher d'étage mixte bois/béton permet la réduction des ponts thermiques structurels, une isolation acoustique et une esthétique intérieure agréable. La toiture végétalisée est recouverte de plantes grasses, de lichens et de prairie fleurie, des végétaux qui absorbent de grandes quantités d'eau dans leurs tiges et racines. Cela contribue à l'étanchéité de la toiture, ainsi qu'à l'isolation du bâtiment.

#### Contexte technique :

- École maternelle de 5 classes, avec centre de loisirs, salle de motricité, restaurant scolaire, etc. pour 95 enfants (à la rentrée 2016)

- Certification passivHaus\*, proposée au concours
- Objectif visé par la simplicité et la compacité du projet
- Recours au logiciel PHPP pour vérifier la conception
- Complémentarité des principes passivHaus avec l'intégration de matériaux à faible énergie grise (bois et paille)
- Continuité urbaine avec les pavillons attenants : alignement sur la rue.
- Rythme des jardins prolongé avec la cour et la toiture végétalisée du préau
- Expression du bois : clôture et bardage (douglas) à l'extérieur et rendu de la sous-face des dalles à l'intérieur (solivage décalé visible)
- Position centrale d'une salle de motricité (plus de 100 m<sup>2</sup>) au rez-de-chaussée : passage des réseaux, dans une gaine centrale, à l'étage pour ne pas couper ce volume et éviter les faux-plafonds

\* La maison passive est une norme de construction qui est à la fois économe en énergie, confortable, économique et écologique.

Sources Passivhaus Institut :

[https://passiv.de/de/02\\_informationen/01\\_wasistpassivhaus/01\\_wasistpassivhaus.htm](https://passiv.de/de/02_informationen/01_wasistpassivhaus/01_wasistpassivhaus.htm)

- Allotissement en macro-lot, dont clos-couvert par CBS-Lifteam (bureau d'étude, préfabrication, construction)
- Clos couvert achevé en 1 mois, pour un chantier de 9 mois
- Réalisation du projet : bureau de contrôle non préparé (besoin de multiplier les réunions) mais appui fort de la maîtrise d'ouvrage
- Peu de réserves émises à la réception
- Coût au m<sup>2</sup> équivalent à d'autres équipements (moins performants énergétiquement).

### Informations techniques :

- Consommation de chauffage estimée < 15 kWh/(m<sup>2</sup>.an) // cible PassivHaus
- Étanchéité à l'air :  $n_{50} = 0,47$  vol.h-1 // cible Passiv Haus < 0,6
- Lots concernés par le matériau bois :
  - Structure : poteau/poutre, ossature, dalle bois et mixte bois-béton : résineux
  - Menuiseries extérieures : mélèze
  - Bardage : douglas
  - Aménagements intérieurs et extérieurs
  - Ratio de bois (structure, bardage et cloisonnement, hors panneaux) : 278 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> SP (équivalence Charte bois construction publique exemplaire)
- Isolation :
  - bottes de paille (murs)
  - polystyrène (toiture et plancher bas)
  - polystyrène expansé (toiture) pour une question de poids par rapport à la paille et à la longueur des portées
- Volume de paille (isolation, remplissage ossature bois) : 147 m<sup>3</sup> (entre 1 000 et 1 100 petits ballots)
- Étanchéité à l'air : traitée en partie courante en atelier : caissons d'ossature étanches et raccords sur chantier (membranes pare-vapeur et adhésifs)
- Acoustique : réglée par le relief des dalles (sans faux-plafond), et réduction acoustique (grâce à la paille avec doublage entre 43 et 45 dB)
- Thermique : apports solaires et double flux de la centrale de traitement de l'air (+ chaudière gaz à condensation de type maison individuelle)
- Confort d'été : protections solaires (stores extérieurs) et possibilité de surventilation traversante pendant la nuit.





## Ecole et collège Emmanuel d'Alzon (France)

Interview de Sébastien Girardeau (Dauphins architecture)

**J'ai pu regarder vos différents projets études et réalisations depuis 2007. J'ai noté une prépondérance pour les projets biosourcés mais aussi pour des habitats participatifs, en accession sociale. Comment décririez-vous l'agence aujourd'hui ?**

Pour chaque projet mené à l'agence, la question du vivant - au sens large du terme - est au cœur de nos réflexions.

Au travers de l'architecture, celui-ci se manifeste d'abord par l'usage que les hommes font des lieux qu'ils investissent : le caractère anthropique de l'architecture. Nous explorons plusieurs sujets comme la liberté de conception et d'appropriation, la flexibilité du bâti, l'inscription historique et culturelle, le rapport aux représentations collectives et aux figures symboliques de l'architecture et du paysage, l'émancipation habitante ; ce qui nous a

menés à réaliser des opérations participatives par exemple. Le vivant, c'est aussi la faune et la flore qui habitent et occupent l'espace.

Systématiquement, nous portons un intérêt à la végétalisation du bâti, à trouver des refuges pour la biodiversité (animale ou végétale), et à intégrer une forte dominante paysagère aux projets d'architecture.

D'autre part, l'utilisation de matériaux sains et respectueux de l'environnement (circuits courts, matériaux biosourcés et géosourcés, réemploi des matériaux de construction), ainsi qu'une conception bioclimatique des bâtiments (cherchant à tirer parti des apports et des qualités environnementales d'un site comme l'orientation, la ventilation naturelle, les apports solaires etc.) permettent d'apporter un réel confort d'usage et de réduire les



consommations d'énergies, tout en respectant l'environnement, au-delà du site de projet.

Le positionnement de l'agence se trouve, à mon sens, dans l'articulation de ces différentes notions ; l'objectif final étant de tendre vers un bien commun positif, durable et écologique.

### **Je viens de participer à la visite du chantier de l'établissement d'Alzon, quel est ici "le récit à mettre en forme" par l'architecte ?**

Nous sommes ici dans un futur lieu d'apprentissage, de transmission. L'enjeu premier est de proposer un lieu d'opportunités en matière d'éducation. Le projet pédagogique du futur établissement s'inscrit dans une démarche singulière au regard des standards de l'éducation nationale. De ce point de vue, l'enjeu du projet architectural – le récit à mettre en forme – est de satisfaire cette ambition, recueillir ce projet pédagogique pour le laisser grandir.

### **Quelles ont été ou sont, les principales contraintes de ce chantier ?**

L'inscription des bâtiments dans le site a constitué une première contrainte car la parcelle est marquée par une zone humide. Nous l'avons préservée dans le projet et proposé comme lieu de pédagogie, avec la construction notamment d'un « éco-lieu » : une salle de classe à vocation écologique (récupération des eaux de pluie, compostage, potager etc.). Aujourd'hui, en chantier, la zone humide est un véritable enjeu car elle limite la place disponible pour le chantier, aucun stockage ou aucune voie chantier n'est possible sur cette zone pour la préserver telle quelle. D'autre part, les remontées d'eaux apportent des complexités supplémentaires.

Une autre contrainte de taille est la temporalité (comme dans bien des cas). Le rythme est donné par l'ouverture de classes lors des rentrées scolaires, ce qui contraint fortement le planning et conditionne l'organisation du chantier en plusieurs phases.

## Le choix des matériaux biosourcés bois/paille provient-il du maître d'ouvrage ?

Le choix de matériaux comme la paille et la fibre de bois en isolation et le bois en structure a été formalisé par l'équipe de maîtrise d'œuvre dès la phase concours, et proposé à la maîtrise d'ouvrage. Cette proposition a vraisemblablement séduit la maîtrise d'ouvrage, et tout au long des phases d'études jusqu'à aujourd'hui pendant le chantier, ces matériaux participent à l'identité du projet. L'inauguration du chantier a d'ailleurs été symbolisée par la pose de la première botte de paille.

Je crois que l'utilisation de matériaux s'inscrivant dans une démarche durable et écologique a fait écho à la pédagogie de l'établissement et aux valeurs qu'il porte.

## Quand et comment imaginez-vous que les usagers vont s'approprier les lieux ?

Les premiers élèves sont arrivés à la rentrée de septembre 2019, sur une partie du site, pendant que le chantier se poursuit de l'autre côté. Il est difficile aujourd'hui d'imaginer comment les usagers s'approprieront le lieu. Ce qui est certain, et très intéressant, c'est que nous aurons l'occasion d'observer la façon dont les élèves et les enseignants investissent et « usent » les salles classes, les cours de récréation, les coursives, les sanitaires, alors que le chantier ne sera pas encore terminé.

## Est-ce que le chantier peut être modifié en fonction des usages avant la livraison ?

Les ailes d'enseignement ont été conçues pour laisser possible la modification de la distribution intérieure et garantir ainsi une flexibilité du bâti et des usages. Les planchers bois sont portés par les façades, libérant ainsi l'espace intérieur de tout point porteur. D'ailleurs, cette flexibilité du bâti a pu se concrétiser durant le chantier, nous permettant de modifier certaines cloisons, à la demande de la maîtrise d'ouvrage, pour coupler plusieurs salles entre elles.





**Pour ce qui est du confort intérieur, quel principe a-t-il été retenu pour le chauffage et la ventilation ? Pouvez-vous me donner des informations sur les éléments techniques utilisés ?**

D'un point de vue du confort intérieur, la première attention est portée sur la qualité des enveloppes et sur les systèmes passifs (ce qui ne demande pas d'énergie pour fonctionner). En cela, la paille, par exemple, constitue un très bon isolant thermique, tout en apportant à la paroi le déphasage nécessaire à l'absorption de l'onde de chaleur jour/nuit, participant ainsi du confort en hiver (se protéger du froid) autant que celui d'été (se protéger du chaud).

Aussi, l'orientation des bâtiments, la position des ouvertures et les protections solaires ont été étudiées pour bénéficier des apports solaires en hiver tout en se protégeant des surchauffes en été (en jouant sur la variation de l'inclinaison du soleil selon les saisons notamment).

Un système de ventilation naturelle passive (touvelles d'extraction qui fonctionnent au vent) permet d'assurer le renouvellement d'air une grande partie de l'année. En hiver, un système mécanique double-flux récupère les calories extraites pour pré-chauffer l'air entrant. C'est donc un système de ventilation hydrique naturel/double-flux.

Malgré les apports solaires, un apport complémentaire est nécessaire pour couvrir l'ensemble des besoins de chauffage en hiver. Une chaudière biomasse (bois en granules) gère la production d'eau chaude pour le chauffage.

**Sur ce chantier, quelle est "la limite, règle, norme" que vous allez questionner ?**

La plupart des façades du projet ont été conçues en ossature bois isolée en paille, les planchers sont eux aussi en bois. La mise en œuvre de la paille a dû être justifiée d'un point de vue réglementaire car aucun référentiel n'existant dans le cas d'un ERP cat 2 (établissements recevant du public de

701 à 1.500 personnes), aucune justification possible, ce qui a été un véritable challenge, autant en étude qu'en chantier. Il y a bien les Règles professionnelles de la construction paille<sup>1</sup>, mais nous atteignons ici les limites.

Pour ce faire, nous avons réalisé des essais en laboratoire afin de prouver le bon comportement de ce matériau en situation d'incendie. Notamment, une maquette à l'échelle 1:1 a été construite, comprenant un extrait de façade et de plancher prévu au projet, pour tester la propagation du feu d'un étage à l'autre (essai Lepir 2). Un feu a été déclenché au RDC de la maquette, l'objectif pour réussir l'essai était de ne pas transmettre de flammes à l'étage pendant les 30 premières minutes. Le complexe s'est très bien comporté et nous avons pu justifier l'utilisation de ce matériau pour le projet. Pour l'expérience, nous avons même « poussé » plus loin que l'essai : après 60 minutes d'essai les flammes n'avaient toujours pas atteint l'étage.

Pour donner un ordre de grandeur, dix fois plus de thermocouples (environ 150) que pour un essai classique ont été disposés dans la maquette pour mesurer les variations de température à l'intérieur du complexe et comprendre la diffusion de la chaleur et des flammes dans une paroi isolée de paille.

### Comment voyez-vous l'avenir des matériaux biosourcés dans la construction ?

Il y a une demande grandissante de la part des maîtres d'ouvrage, qu'elle soit privée ou publique, pour intégrer ces matériaux aux constructions de demain. Les principaux freins restent ceux de la réglementation qui, malgré tout, intègre peu à peu leur utilisation. Mais les choses bougent dans le bon sens, la future réglementation thermique devrait favoriser l'emploi de ces matériaux. C'est une très bonne chose car le bâtiment est aujourd'hui un des secteurs d'activité les plus impactants pour l'environnement, c'est aussi un gain notable pour le confort des usagers.

### Saint-Médard, chantier béni ?!

Pour l'inauguration du chantier, la première botte de paille avait été bénie par Monseigneur Ricard, avant d'être posée par le maire de Saint-Médard-en-Jalles, M. Mangon (la maîtrise d'ouvrage est un établissement privé d'enseignement catholique). Nous espérons que ce geste symbolique nous portera jusqu'à la livraison du bâtiment.

<sup>1</sup> Règles professionnelles de la construction en paille CP 2012 révisées - Edition Le Moniteur



## MARCHÉS PUBLICS

La commande publique de bâtiments en paille peut entraîner la demande d'autres prescripteurs et donc créer un cercle vertueux pour le secteur. Mais les critères présents au sein des appels d'offre doivent être révisés et enrichis. Que faudrait-il changer ? Quels sont les exemples de projets qui ont fonctionné ? Dans ce chapitre, nous vous proposons un **retour d'expériences** de bâtiments construits ou rénovés en paille, soumis aux procédures de marché public.

### Le coût réel de la construction paille

Le prix d'un bâtiment, ce n'est pas qu'un chiffre. C'est aussi une qualité de réalisation, un confort et une qualité d'utilisation au fil des années, des économies d'énergie et des coûts de maintenance limités. La main d'œuvre qualifiée, une architecture et des matériaux de qualité ont bien

entendu un coût. Mais économiquement, les choix ont tout intérêt à tendre vers l'optimum du rapport qualité/prix en fonction des critères définis par le maître d'ouvrage. Un bâtiment plus qualitatif représente peut-être un investissement plus élevé à court terme mais peut se révéler plus intéressant en coût global sur la durée.

De même, il ne faut pas sous-estimer l'économie de coûts cachés pour les maîtres d'ouvrage, les finances publiques et la collectivité tels que :

- La préfabrication en atelier, très fréquente en construction paille, signifie un bâtiment rapidement construit sur chantier et donc moins de transports, moins de pollution et circulation autour du chantier,
- Un bâtiment où il fait bon travailler, confortable et sain réduit les absences du personnel, ce qui permet une hausse de la productivité,

- Une construction nécessitant peu d'énergie équivaut à moins de pollution et d'émissions de gaz à effet de serre, et donc à un meilleur bilan environnemental du bâtiment,
- Une matière première locale comme la paille, c'est une facilité de déconstruction, des possibilités accrues de réemploi ou de recyclage, et donc un coût de gestion futur des déchets réduit.

### Utiliser des procédures de marché public adaptées

Actuellement la majorité des professionnels dans le secteur de la construction en paille sont des TPE ou des PME de petite taille, peu enclines à répondre à des marchés publics complexes. Il est donc nécessaire de retenir des procédures simples pour inciter plus de professionnels qualifiés à répondre.

De même, si de nombreux maîtres d'ouvrages publics sont intéressés par une manière de bâtir plus respectueuse de l'environnement, le chemin se révèle souvent complexe.

### Donner du temps et des moyens aux auteurs de projets

Le coût de la conception représente environ 2% du coût global d'un bâtiment. Or, la phase de conception peut influencer tout le reste du cycle de vie du bâtiment. Il apparaît donc peu raisonnable de rogner le budget des études puisque celles-ci vont affecter 98% de la vie du bâtiment.

En phase de conception, les études à fournir sont aussi de plus en plus nombreuses et pointues, il est donc aussi pertinent de laisser du temps aux auteurs de projet : plus le projet sera étudié, mieux il sera décrit dans les cahiers des charges.

### 5 retours d'expériences au niveau européen

Dans le cadre du projet européen Interreg NWE UP STRAW, un bâtiment a été construit ou rénové dans chaque pays partenaire afin de faire un retour d'expérience sur les procédures de marché public.



Dans les pages qui suivent, vous découvrirez donc 5 bâtiments exemplaires dans 5 pays européens : Allemagne, Angleterre, Belgique, France, Pays-Bas. Chaque projet est différent afin de pouvoir montrer un panel de techniques et de solutions. Ils ont tous été soumis aux procédures de passation de marchés publics. Ils ont tous fait l'objet de réunions d'experts afin d'échanger sur les problèmes et les solutions rencontrés tout au long de la procédure et de la construction. Autant d'exemples, ancrés dans la réalité, de modifier positivement notre manière de construire.



## Recommandations

### Le site !

La première qualité environnementale d'un bâtiment est son emplacement. Le bilan global du meilleur bâtiment sera fortement dégradé si ses utilisateurs doivent utiliser un véhicule individuel pour s'y rendre quotidiennement.

Considérons par exemple un bâtiment<sup>1</sup> de 400 m<sup>2</sup> de bureaux au standard passif (consommation d'énergie primaire < 120 kWh/m<sup>2</sup>.an – 48 kWh/m<sup>2</sup>.an en énergie finale) occupé par 10 personnes faisant 20 km aller/retour 48 semaines par an.

Les émissions de CO<sub>2</sub> du bâtiment sont de 4224 kg/an alors que les émissions des véhicules représentent 7680 kg/an, soit 1.8 fois les émissions du bâtiment.

### Cahiers des charges performanciers

Les attentes en termes de qualité et de performances doivent être décrites précisément afin de pouvoir comparer les projets. Le premier sujet venant à l'esprit est évidemment la performance énergétique. Le seuil est fixé par la réglementation thermique PEB mais des performances plus ambitieuses sont envisageables en visant des labels type Maison Passive ou presque zéro énergie (NZEB).

L'énergie est la pointe de l'iceberg de la performance environnementale. De nombreux autres sujets peuvent être abordés : Analyse du Cycle de Vie (ACV) du bâtiment, éclairage naturel, acoustique, Qualité d'Air Intérieur (QAI), performances des équipements, gestion de l'eau, etc. Pour chacun de ces critères, il est généralement possible d'avoir des objectifs quantifiables.

### Procédures de marché public

Les entreprises spécialisées dans l'éco-construction sont essentiellement des TPE/TME. Le choix des procédures de marché public devrait donc permettre à ces entreprises d'accéder à ces marchés. Les procédures négociées ou en lots séparés sont donc à privilégier.

Les critères d'attribution du marché devraient aussi intégrer des critères de performances et de qualité qui, en termes de pondération, devraient dépasser l'unique critère du coût. La recherche du coût le plus bas ne permettra pas de faire émerger des solutions ambitieuses ou innovantes.

### Assistance à Maîtrise d'ouvrage

Les missions d'assistance pour la gestion des marchés publics sont relativement courantes, vous pouvez également être accompagnés par des spécialistes de la performance environnementale des bâtiments qui vous guideront sur le développement des programmes, le suivi des études et la réalisation des projets.

### Sourcing

L'éco-construction représente 5 à 10 % du marché de la construction actuelle. L'expertise et les matériaux sont donc moins courants sur le marché. Il est donc important d'identifier vos besoins et vos envies et de réaliser un travail de sourcing : est-ce que les compétences, les produits et les systèmes constructifs que vous envisagez sont disponibles sur le marché ? Est-ce que les acteurs professionnels ont la capacité de répondre à l'appel d'offre ?

### Budget – Coût global

La qualité a un prix. Cela est vrai dans tous les domaines, y compris le bâtiment. Le surcoût lié à la performance écologique est généralement de 5 à 10%, ce qui est finalement très peu pour obtenir un bâtiment de très haute qualité environnementale, économe en énergie, confortable et sain.

Votre budget est fixé et vous ne souhaitez pas le dépasser ? Revoyez le projet avec votre Programmiste ou votre Architecte pour réduire certaines surfaces ou mutualiser certaines fonctions de locaux afin de réduire la surface totale du projet.

Enfin, gardons à l'esprit le coût global du bâtiment : la construction d'un bâtiment représente environ 25% de l'investissement<sup>2</sup>, les 75% restants représentent l'exploitation et la maintenance. Un investissement complémentaire sur la phase de construction est donc très intéressant s'il permet des économies sur les charges de fonctionnement du bâtiment.

<sup>1</sup> Pour cet exemple, le bâtiment est situé en Belgique, coefficient énergie primaire de l'électricité = 2.5. Les émissions de CO<sub>2</sub> de l'électricité sont de 0.22 kg CO<sub>2</sub> éq/ kWh électrique finale. Les émissions des véhicules individuels sont d'environ 160 g CO<sub>2</sub>/km

<sup>2</sup> <https://www.agilcare.co/blog/2020/1/14/le-vrai-cout-global-des-batiments>





## Bureaux du Cluster Eco-construction (Namur - BELGIQUE)

### Procédure de marché public en Design & Build

Interview avec Hugues Delcourt, Chargé de projets au Cluster Eco-construction

Le Cluster Eco-construction dispose depuis juillet 2021 d'un nouveau bâtiment de bureaux construit en paille. Quel fut le cheminement technique et juridique de ce projet ? Quelles conclusions en tirer ?

#### Comment la paille est-elle intégrée dans la réglementation thermique ?

La PEB dispose d'une base de données des produits fournissant la conductivité thermique des matériaux : le  $\lambda_{ui}$ .

Un producteur dispose d'une valeur spécifique pour la paille de  $\lambda_{ui} = 0.060 \text{ W/m.K}$ . Cependant cette valeur n'est utilisable que pour les bottes de paille provenant spécifiquement de ce producteur.

Les bottes de paille non certifiées doivent donc utiliser une valeur  $\lambda_{ui}$  par défaut pour les produits biosourcés :

- $0.06 \text{ W/m.K}$  pour les « Matériaux d'isolation thermique fabriqués en usine »

### EN BREF

#### TYPE DE PROJET

Construction

#### TYPE DE BÂTIMENT

Bureau

#### MAÎTRISE D'OUVRAGE

Cluster Eco-construction

#### ASSISTANT A MAÎTRISE D'OUVRAGE

BEP

#### INTERVENANTS

- Entrepreneur général : Mobic
- Architecte : Helium 3 + Havresac
- Bureau d'étude ingénieur : Homeco
- Sécurité chantier : Genie Tec Belgium

#### ANNÉE DE CONSTRUCTION

2021

#### SURFACE (UTILE)

400 m<sup>2</sup>

#### COÛT (TOTAL & €/M<sup>2</sup>)

840.000 € TVAC - 2.100 €/m<sup>2</sup>

#### TECHNIQUE DE CONSTRUCTION PAILLE

Demi grumes de bois brut et paille compressée

#### VOLUME DE PAILLE POUR LE PROJET (M<sup>3</sup>)

121 m<sup>3</sup>

#### DISTANCE ENTRE LA FOURNITURE DE PAILLE ET LE PROJET

150 km



- 0.08 W/m.K pour les « Matériaux d'isolation thermique non fabriqués en usine et matériaux d'isolation thermique prenant leur forme finale in situ »

Le choix d'une de ces valeurs est soumise à discussion mais la définition de 'in situ' dans les textes réglementaires correspond à des techniques de pose en vrac ou en insufflation. La valeur de 0.06 W/m.K est donc plus pertinente pour la paille.

### **Existe-t-il une réglementation spécifique pour la paille ?**

La Belgique ne dispose pas de textes spécifiques pour la construction en paille. Les projets doivent respecter la réglementation générale de la construction et il est possible d'utiliser des textes étrangers pour justifier les solutions constructives retenues. Pratiquement, les bâtiments publics belges réalisés en paille se basent sur les règles française CP2012 et sur les tests allemands pour la résistance au feu.

La plupart des chapitres des règles CP2012 disposent d'un paragraphe introductif relatif au contexte normatif et références. Ces chapitres font l'objet d'un addendum dans les « Cahiers techniques biosourcés – Construction en paille » présentant les équivalences normatives entre la France et la Belgique. Les normes européennes sont évidemment adoptées dans chaque pays et l'addendum fournira les équivalences entre les DTU français et les NIT/STS belges. Dans la mesure du possible, les documents belges abordant le même sujet que les DTU français ont été recherchés mais les contenus peuvent diverger. L'addendum comprendra aussi un retour d'expérience sur les pratiques spécifiques en Belgique qui divergent de l'approche française.

### **Comment avez-vous anticipé la fourniture et le stockage de la paille ?**

La technique originale utilisée pour le bâtiment du Cluster a permis de s'affranchir de nombreuses contraintes. Les murs sont constitués de banches composées de demi-grumes rectifiées. La paille est comprimée entre deux banches pour atteindre l'épaisseur et la densité voulue.

Les modules du bâtiment sont préfabriqués en atelier, à l'abri des éléments extérieurs. Deux exigences principales à ce processus : la paille livrée doit être bien sèche et stockée correctement. Ce mode constructif permet de s'affranchir des exigences liées à la densité ou à la forme des bottes. Ici, les bottes sont ouvertes, la paille est disposée sur les banches et recomprimée pour atteindre la bonne densité.

### **Y a-t-il des exigences particulières concernant la résistance au feu ?**

Le projet et le système constructif ont été présentés au service des pompiers (prévention incendie) avant la demande de permis d'urbanisme. Pour ce bâtiment, la résistance au feu des façades doit être de 60 minutes. Or, l'épaisseur des grumes seules (environ 160 mm) permet d'atteindre cette résistance.

### **Comment les compagnies d'assurance ont-elles réagi pour l'assurance d'un bâtiment en paille ?**

Vu le respect des normes de résistance au feu et l'avis positif du Service incendie, cela ne pose aucun souci. Etant donné l'avancement du chantier, les compagnies d'assurance contactées au début du projet UP STRAW n'ont pas exprimé de réticences particulières pour ces systèmes constructifs.

### **Quelle procédure avez-vous choisie pour la passation de votre marché ? Et quels sont les avantages et désavantages ?**

Le marché public a été lancé en août 2018. Nous avons pris la décision d'utiliser une procédure « Design & Build » pour raccourcir le planning. Cela nous permettait de réaliser un seul appel d'offres, l'équipe rassemblant architectes et entrepreneurs.

Nous avons reçu deux offres le 7 novembre 2018 mais nous avons dû les refuser pour des raisons de non-conformité des dossiers administratifs

(documents manquants ou incomplets). Le groupe de travail du Cluster Eco-construction a choisi de relancer la consultation.

Nous avons eu des échanges avec certains professionnels, principalement des architectes, qui auraient pu participer au concours mais y ont renoncé. La principale raison de ce refus ? Le temps important à investir dans une procédure de Design & Build, qui représente un risque élevé pour une petite entreprise avec une faible trésorerie. La deuxième raison: l'appel d'offres exigeait, au minimum, une référence de construction en paille à la fois pour l'architecte et pour l'entrepreneur. Le marché de la construction en paille étant encore émergent, seules quelques équipes pouvaient être créées sur base de ce critère.

Le « Design & Build » implique de passer un contrat avec une équipe composée d'un architecte et d'un entrepreneur général mais les entrepreneurs généraux ne sont généralement pas intéressés par les petits projets et ne maîtrisent pas encore les techniques de la paille, c'est pourquoi ils ont tendance à fortement surestimer leurs offres quand ils en remettent une.

Nous avons eu un entretien avec une équipe qui a travaillé sur le concours, mais qui a finalement décidé de ne pas soumissionner. Cette société est bien connue pour ses activités dans la construction en bois, les panneaux CLT et les applications de lamellé-collé. Et elle développe actuellement un complexe de murs en paille/CLT. Ils ont cependant estimé que les exigences en matière de références en construction paille étaient trop élevées. Il est vrai que l'appel d'offres exigeait, en plus de la référence à une construction paille, un chiffre d'affaires d'au moins 125 000€ pour l'architecte, et de 300 000€ pour l'entrepreneur. Ces exigences sont élevées en Wallonie, ce qui limite fortement le nombre des acteurs potentiels.

## En conclusion

La procédure de « Design & Build » est rassurante pour le Maître d’Ouvrage car elle apporte une impression de sécurité sur le planning et le budget. Mais en pratique, un projet n’est jamais à l’abri d’un aléa, quelle que soit la procédure retenue.

Le principe de « Design & Build » est intéressant si on souhaite que les architectes et les entreprises travaillent ensemble sur des techniques peu répandues.

A contrario, la complexité des procédures de marchés publics et le temps de travail important pour la préparation de ces concours en « Design & Build » peuvent décourager les entreprises ne disposant pas de la trésorerie nécessaire pour couvrir le risque de perdre le concours.

Le Maître d’Ouvrage qui désire gagner du temps ne prendra pas le risque de lancer une consultation en lots séparés, où l’ensemble de la consultation peut être annulée si un lot s’avère infructueux. La procédure favorise donc les entreprises générales au détriment de petites entreprises plus locales.

Enfin, cette procédure représente un frein à la créativité. L’exigence d’un estimatif figé en phase de concours pousse les lauréats à proposer des solutions qu’ils connaissent et maîtrisent parfaitement. Ils éviteront de proposer des solutions originales, qui leur feraient prendre trop de risques en termes de maîtrise technique ou de budget.

Cette procédure est donc plutôt adaptée à des gros projets conventionnels faisant intervenir des majors de la construction. Elle est en revanche à déconseiller pour des projets ambitieux et originaux qui voudraient mettre en avant les PME locales.





## Hall de sport De Roomley (Udenhout - Pays-Bas)

La commune de Tilburg rénove avec de la paille

Interview avec Wouter Klijn, Strobouw Nederland

### Pour quelle raison avez-vous choisi la paille pour la rénovation d'un centre sportif ?

En 2016, Strobouw Nederland (l'association nationale pour la construction paille) a invité la municipalité de Tilburg à participer au programme Interreg NWE pour la construction paille : UP STRAW.

Un inventaire commun fut réalisé pour déterminer, parmi les 150 bâtiments de la municipalité de Tilburg, ceux qui convenaient le mieux à une rénovation pilote avec de la paille. Le Roomley a été sélectionné comme étant la meilleure option à ce moment, car il existait déjà un budget pour l'entretien à mi-vie des parties les plus importantes du bâtiment, du fait qu'il avait plus de 35 ans d'âge.

### Le choix d'une rénovation avec de la paille comme isolation était-il logique ?

L'utilisation de la paille dans le bâtiment était à l'époque une idée toute nouvelle pour la municipalité

## EN BREF

**TYPE DE PROJET**  
Renovation & extension

**TYPE DE BÂTIMENT**  
Centre sportif

**MAÎTRISE D'OUVRAGE**  
Commune de Tilburg

**BUILDING MANAGEMENT**  
Département immobilier Tilburg

**INTERVENANTS**

- Architecte : Spacetranslators
- Techniques spéciales : W-inst
- Entrepreneur général : Van Der Weegen
- Constructeur bois : Barli

**ANNÉE DE CONSTRUCTION**  
2020

**SURFACE (UTILE)**  
2.568 m<sup>2</sup>

**COÛT (TOTAL & €/M<sup>2</sup>)**  
2.850.000 € - 1.100 €/m<sup>2</sup>

**TECHNIQUE DE CONSTRUCTION PAILLE**  
Préfabrication avec 32 cm de paille insufflée

**VOLUME DE PAILLE POUR LE PROJET (m<sup>3</sup>)**  
260 m<sup>3</sup>

**DISTANCE ENTRE LA FOURNITURE DE PAILLE ET LE PROJET**  
250 km

de Tilburg. Mais en fait, elle correspondait exactement aux ambitions de la municipalité depuis plus de 10 ans. L'ambition actuelle a été identifiée en 2016 au sein d'une « feuille de route » visant une 'exploitation durable des bâtiments' avec la fin 2020 comme première balise d'évaluation.

### Comment l'utilisation de la paille est-elle devenue un élément de rénovation ?

La première idée était « d'envelopper » uniquement les deux salles de Roomley. Cette enveloppe réduirait la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer le bâtiment en hiver et conserverait bien mieux la fraîcheur en été. La partie inférieure du bâtiment devait être exclue de cette rénovation.

Cependant, un investissement majeur dans un bâtiment vieux de 40 ans nécessitait une vision plus large. C'est pourquoi nous avons élaboré un nouveau plan de rénovation à mi-vie pour obtenir un bâtiment à énergie zéro ('zero-on-the-meter') suivant la nouvelle feuille de route en vue d'une exploitation durable du bâtiment.

### L'utilisation de paille a-t-elle modifié l'approche du projet ?

Pour une construction utilisant la paille, l'approche du projet ne doit pas être différente de ce qui se fait habituellement. Grâce à notre partenariat avec Strobouw Nederland et d'autres membres du projet UP STRAW, nous avons déjà une solide connaissance de l'application de la paille. Et lorsque l'on collabore avec des sociétés orientées vers l'innovation, le planning se déroule de manière harmonieuse.

### Avez-vous pu obtenir facilement le permis de construire ?

Nous n'avons rencontré aucun obstacle, ni concernant l'utilisation de paille ni en termes de sécurité incendie. Seule l'obtention du permis d'urbanisme s'est avérée être un processus plus complexe.

### Et comment s'est déroulé l'appel d'offres ?

Identifier des entreprises prêtes à faire une offre a été difficile. Lors du premier appel d'offres, il est apparu clairement que les travaux de rénovation



demandés ne pourraient pas être exécutés dans les limites du budget. Après avoir modifié la portée du projet, un deuxième appel d'offres a obtenu une seule offre, mais celle-ci était toujours supérieure au budget. Après avoir obtenu l'autorisation de négocier des économies réalisables, nous avons finalement obtenu un devis réalisable avec un budget supplémentaire.

### Quelles sont les leçons tirées de l'appel d'offres ?

Un projet assez complexe composé notamment d'éléments inconnus tels que l'utilisation de la paille a nécessité une collaboration importante. La participation de partenaires locaux a fortement facilité la tâche. De plus, rénover un bâtiment en service était un projet bien plus compliqué qu'une toute nouvelle construction.

### La construction avec de la paille a-t-elle présenté un défi supplémentaire ?

Par rapport aux autres aspects de la rénovation, la méthode de construction paille a eu peu d'impact sur le processus global. Les discussions relatives à la manière dont l'humidité peut affecter la paille ont été rapidement

résolues par l'ajout d'un film supplémentaire derrière la paille, ce qui n'est pas indispensable, mais peut être qualifié de réduction de risque. Pour la grande majorité des parties prenantes, c'était la première expérience en construction paille.

### **Comment avez-vous fait le choix de la paille soufflée ?**

Durant la phase de conception de cette rénovation, nous avons examiné avec les partenaires Interreg NWE UP STRAW différentes options de rénovation utilisant la paille. Pour avoir un point de départ dans notre projet, nous avons demandé à des concepteurs de bâtiments exemplaires au Royaume-Uni, en France et en Suisse de nous faire part de leur expérience.

L'utilisation de bottes de paille sur le chantier a très vite été exclue pour des raisons de logistique, de maniabilité et de commodité. Les options utilisant des éléments préfabriqués standard semblaient être un meilleur choix du fait de leur rapidité d'installation.

Cependant, nos recherches ont également indiqué que la façade existante en briques n'était pas assez solide pour soutenir les éléments préfabriqués. En utilisant des sections plus grandes, on peut les fixer à la structure existante en acier. L'utilisation de paille soufflée permet une grande liberté de conception en termes d'épaisseur et de construction des murs et évite au charpentier de devoir modifier sa méthode de travail.

### **Quelles étaient les exigences en matière de sécurité incendie ?**

Sur la base d'un calcul de charge calorifique, le cloisonnement du bâtiment sous les 1000 m<sup>2</sup> n'était pas nécessaire et une façade de catégorie D était requise pour la sécurité incendie du bâtiment. Comme nous avons une façade ouverte en bois, la paille doit être recouverte d'un matériau de classe D au minimum. Et comme la paille est un matériau d'isolation de classe E, on a utilisé un panneau d'isolation en fibre de bois de classe C (une classe de plus que requis).

### **Quelles étaient les difficultés de production des murs isolés à la paille ?**

Les éléments de 7 mètres de long et près de 3 mètres de haut ont été remplis de paille durant la phase de fabrication chez Barli à Uden, une société de construction à ossature bois locale. Pour éviter tout risque de tassement de la paille durant le transport de Uden à Udenhout, la paille a été insufflée à 10 % de densité supplémentaire. Pour l'équipe de Barli, il s'agissait d'un matériau totalement nouveau dans leur processus de production plutôt traditionnel.

Pour contrôler la qualité des éléments en paille, nous avons réalisé et enregistré plusieurs tests. Le taux d'humidité d'un échantillon de quelques éléments a été contrôlé sur la face extérieure du bâtiment existant au cours d'une phase pilote. Le volume de la paille a été enregistré durant le soufflage à Uden pour calculer la densité. Après l'installation sur le site, on a vérifié le tassement de la paille en ouvrant plusieurs éléments pour permettre un examen visuel.

### **Avez-vous rencontré des difficultés de planning dues à l'utilisation de paille ?**

L'utilisation de paille soufflée s'est avérée être un processus facilement adaptable. Insuffler la paille produisait trop de poussière dans l'atelier de production à Barli. Toutefois, le soufflage a été possible grâce à des mesures supplémentaires de protection et d'extraction.

Par ailleurs, nous avons constaté qu'il était très important, pour le planning, d'insuffler certains éléments sur place. Dans ce cas, les circonstances sont moins propices que pour le charpentier, mais le planning reste pertinent.

### **Avez-vous rencontré des difficultés techniques dues à l'utilisation de paille ?**

La paille soufflée est un matériau conforme à la valeur d'isolation requise dans les marges de soufflage. Le conditionnement offre une protection adéquate pour le transport et le stockage. Une fois insufflée dans l'élément,

la paille est déjà bien protégée des perturbations climatiques. Après installation dans la façade, les éléments préfabriqués bénéficient également d'une protection supplémentaire contre les intempéries.

La construction d'éléments à ossature bois et le remplissage de ceux-ci avec de la paille doivent être réalisés de préférence dans un atelier couvert. Cependant, si cela n'est pas possible, la paille peut également être insufflée sur le chantier. Selon les conditions météorologiques, il faut alors déterminer à l'avance si les travaux doivent être reportés ou si l'orifice de soufflage doit être protégé de la pluie.

Pour atteindre l'objectif de « énergie à zéro », la résistance thermique doit être au moins égal à  $7 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ . Comme la qualité de l'isolation existante du bâtiment était assez médiocre, les calculs permettant de satisfaire aux exigences étaient uniquement basés sur la nouvelle façade.

### **Ce projet servira-t-il d'exemple pour d'autres utilisations de paille pour un bâtiment public ?**

Si l'on veut réellement réduire nos impacts environnementaux et préserver les ressources naturelles pour la vie future sur Terre, la construction avec de la paille et du bois est l'une des meilleures options. Les informations et expériences réussies sont disponibles, il faut simplement les utiliser.





## Centre de visiteurs de Hastings (Hastings - Royaume-Uni)

### Premier bâtiment public en bottes de paille

La « Bale House » est le nouveau centre d'accueil de la réserve naturelle du Hastings Country Park, financée par le conseil municipal de Hastings grâce à une subvention du programme Interreg NWE. Ce bâtiment unique en bottes de paille est l'un des éléments les plus spectaculaires du paysage côtier de Grande-Bretagne.

Il s'agit du premier bâtiment public en bottes de paille à Hastings. Il servira de centre communautaire et de café et présentera des programmes d'information sur la gestion de la réserve naturelle du parc national de Hastings.

Des fondations à la façade, il est construit en matériaux naturels et recyclés qui sont sains, ignifuges, respirants et qui bloquent le carbone de l'atmosphère, recyclant ainsi les sous-produits agricoles. Le bâtiment ne requiert presque pas d'énergie pour fonctionner et grâce au pouvoir isolant de la paille, ne nécessitera pas d'installation de chauffage pour assurer le confort des occupants.

#### EN BREF

**TYPE DE PROJET**  
Construction

**TYPE DE BÂTIMENT**  
Centre de visiteurs

**MAÎTRISE D'OUVRAGE**  
Hastings Borough Council

**ASSISTANCE A MAITRISE D'OUVRAGE**  
The Cave Cooperative

#### INTERVENANTS

- Architecte : The Cave Cooperative
- Entrepreneur : Huff and Puff Construction
- Sustainable management : Green & Castle
- Centre managers : Groundwork South
- Consultant Design & Build : Red Kite

**ANNÉE DE CONSTRUCTION**  
2020

**SURFACE (UTILE)**  
225 m<sup>2</sup>

**COÛT (TOTAL & €/M<sup>2</sup>)**  
900.000 € - 4.000 €/m<sup>2</sup>

**TECHNIQUE DE CONSTRUCTION PAILLE**  
Paille porteuse hybride

**VOLUME DE PAILLE POUR LE PROJET (M<sup>3</sup>)**  
80 m<sup>3</sup>

**DISTANCE ENTRE LA FOURNITURE DE PAILLE ET LE PROJET**  
100 km



### Les marchés publics et le processus de construction

Les travaux ont débuté en 2019 : les premiers coups de marteau ont retenti et une structure de lourdes poutres en pin de Douglas fut assemblée pour soutenir les bottes de paille. Le projet a été initié 5 ans plus tôt. Les défis relevés par l'équipe du projet ont donné lieu à des leçons précieuses pour les autorités publiques envisageant de construire des structures écoénergétiques à l'épreuve du temps.

Pour ce faire, le processus d'appel d'offres a été adapté pour répondre aux besoins de ce projet novateur. Suite à l'échec de deux appels d'offres, le conseil a invité plusieurs entrepreneurs en construction durable à former un consortium de constructeurs utilisant des bottes de paille. Murray Davidson, chef de projet du Conseil municipal de Hastings, indique : « Le conseil a pris un risque et a consacré beaucoup de temps à façonner le projet, mais nous avons démontré que la construction avec des bottes de paille peut constituer un élément normal et essentiel des passations de marchés des autorités locales. »

La conseillère municipale Maya Evans, conseillère principale pour l'environnement naturel et les loisirs, commente : « Même si la construction d'un nouveau bâtiment avec des bottes de paille et des matériaux durables présente des difficultés nouvelles pour les autorités, elle confirme notre engagement envers la résolution de la crise climatique que notre planète subit actuellement. »

Les défis imposés par la pandémie mondiale ont retardé la construction. Elle devrait être terminée fin 2020, mais le bâtiment ne sera ouvert qu'en 2021 en raison des restrictions liées à la Covid-19.

### Approvisionnement et stockage de la paille

Suite à la décision du Conseil de construire un bâtiment en utilisant la paille, 80 m<sup>3</sup> de paille ont été achetés en 2016. La paille a été stockée dans des conditions optimales jusqu'à son utilisation en 2019 dans des granges situées dans le parc national de Hastings appartenant au Conseil.

## Méthode de construction

Phil Christopher de Huff and Puff Construction décrit la méthode de construction comme suit : « Initialement, la méthode de construction pour ce bâtiment devait être la méthode par murs porteurs en paille ; nous avons toutefois utilisé une méthode consistant à ériger une charpente légère, puis la remplir de paille. Fondamentalement, la structure est la même que pour les méthodes par murs porteurs en paille, mais elle comporte un plus grand nombre de poteaux.

Je qualifie souvent cette méthode d'hybride puisque la paille est bien un élément structurel des murs, tant pour la charge que pour la pression. Cette méthode convenait parfaitement à nos équipes et au site, qui est incroyablement exposé, 150 mètres au-dessus du niveau de la mer et au bord d'une falaise. Nous avons eu des vents d'environ 112km/h à près de six reprises au cours de la construction et nous avons été obligés d'ancrer solidement le bâtiment. »

## Réglementations en matière d'incendie

John Butler, consultant en développement durable déclare : « la paille doit satisfaire aux mêmes dispositions des réglementations de construction que tout autre matériau de construction. Ceci concerne d'une part les conditions de réaction au feu (la rapidité de propagation des flammes et la quantité de fumée et/ou de gouttelettes enflammées produites) et d'autre part la résistance au feu (le temps durant lequel, lors d'un feu, un élément de construction est enflammé d'un côté sans perdre son intégrité structurelle). Les conditions exactes varient en fonction de la situation.

Des tests officiels certifiés ont révélé la conformité suivante pour les murs en bottes de paille :

- Réaction au feu : les systèmes muraux en bottes de paille enduites d'argile et de chaux ont obtenu des notes B-s1, d0.

- Résistance au feu : les murs en bottes de paille enduites d'argile et de chaux (tous composés d'éléments de charpente de différentes manières) ont obtenu des résultats aux tests officiels de 120 à 135 minutes sans échec (ce qui équivaut à la classification REI de 120 à 135) ».

Phil Christopher ajoute : « Durant la construction, nous avons veillé, comme nous le faisons habituellement, à évacuer régulièrement les débris de paille afin d'éviter tout risque d'incendie. Les murs finis ont été recouverts d'un film protecteur et la finition crépi ou plâtre a commencé immédiatement après la phase de pose de la paille afin de limiter au maximum tout risque de dommages dus au feu. »

## Efficacité énergétique

« La conductivité thermique de la paille est mesurable et généralement conforme aux réglementations britanniques en matière de construction pour le calcul du coefficient de transmission thermique d'un bâtiment. Un faible coefficient de transmission thermique, est l'une des propriétés attrayantes de la paille comme élément de conception durable. Ceci peut avoir joué un rôle dans le choix de la paille à Hastings, de même que les qualités de respirabilité et d'origine locale de ce matériau ». (Nico Smith, Red Kite Design & Build)

## L'avenir de la Bale House

Pour les visiteurs, la découverte de cette partie unique du littoral du Sussex avec sa géologie, sa flore et sa faune et son histoire locale sera combinée à des projets sociaux liés à l'organisation caritative locale Groundwork South au nom du Conseil. « Les habitants de la région sont au centre de la création et du développement de la Bale House qui jouera un rôle de pôle communautaire ». (Teresa Flower, Groundwork South). « Des bénévoles prendront en charge les activités de la Bale House et l'entretien des jardins entourant le bâtiment et seront activement encouragés à prendre part aux activités plus larges de bénévolat pour la conservation et le patrimoine, ainsi qu'aux programmes d'enseignement ».

La Bale House est un espace polyvalent qui peut répondre aux besoins changeants de la communauté. Grâce à ses capacités d'adaptation, le bâtiment sera un modèle de durabilité. Groundwork estime que le fait de « rendre accessibles les espaces verts à une communauté plus large est particulièrement important pour favoriser la reprise après la pandémie de la Covid-19 ».

Le fait de connecter les gens à leur environnement a permis la construction du centre et cette relation sera une garantie de réussite future pour la Bale House. L'équipe espère que les leçons apprises encourageront les autorités publiques à contacter de petits entrepreneurs de construction durable spécialisés pour leurs bâtiments publics.

L'un de ces projets est Hidden Hastings Heritage. Financé par le fonds Heritage Lottery (loterie du patrimoine), ce projet vise toutes les générations dans le but d'optimiser l'accès au parc. Le responsable de l'éducation et le responsable de la conservation et du bénévolat sont basés dans le parc et s'efforcent d'améliorer l'information, la signalétique et les voies reliant l'ensemble du parc à la Bale House. En outre, ils développent des ressources éducatives destinées aux écoles, aux enfants et aux familles et recrutent et encouragent les habitants de la région à constituer une équipe de bénévoles engagés pour diriger les activités de conservation et de protection du patrimoine depuis le centre d'accueil.

Un autre projet est Greener Futures, financé par les Fonds structurels d'investissement européens, qui aidera les résidents les plus vulnérables ou ayant le moins d'accès à l'emploi à se rapprocher du marché du travail ou à accéder à l'emploi.





## Maison Feuillette (Montargis - France)

### Le rôle de l'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage

Pour son projet, le Centre National de la Construction Paille a opté pour une conception bioclimatique et une performance globale, proche de la construction passive. Ceci est rendu possible grâce aux qualités exceptionnelles du matériau paille utilisé pour son chantier.

En France, le marché de la construction paille est dynamique par sa croissance qui compte environ 500 nouvelles constructions par an avec des opérations qui concernent tous types d'édifices : logements individuels et collectifs, établissements recevant du public (ERP), bâtiments tertiaires, établissements d'enseignement, bâtiments agricoles, industriels, etc.

Il existe des textes sur lesquels les professionnels peuvent s'appuyer pour leurs projets de construction paille : les Règles professionnelles de la Construction en paille, les Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire liées au matériau paille, réalisées dans la préfiguration de la future réglementation RE2020.

#### EN BREF

##### TYPE DE PROJET

Construction et réhabilitation

##### TYPE DE BÂTIMENT

Centre de formation

##### MAÎTRISE D'OUVRAGE

Centre National de la Construction Paille

##### INTERVENANTS

- Architecte : Vivarchi
- Bureau d'étude thermique et fluides : Treenergy
- Bureau de contrôle : APAVE
- Assistance à maîtrise d'ouvrage : ITG Construction - Entrevue - Accotech

##### ANNÉE DE CONSTRUCTION

2022

##### SURFACE (UTILE)

Neuf : 132 m<sup>2</sup>

Réhabilitation : 164 m<sup>2</sup>

##### COÛT (TOTAL & €/M<sup>2</sup>)

920 €/m<sup>2</sup>

##### TECHNIQUE DE CONSTRUCTION PAILLE

Préfabrication et isolation thermique par l'extérieur

##### VOLUME DE PAILLE POUR LE PROJET (M<sup>3</sup>)

80 m<sup>3</sup>



En matière de résistance au feu, la paille, comme les autres matériaux, doit répondre à des exigences précises. Pour notre projet, c'est le classement Etablissement Recevant du Public (ERP) du site qui fait la contrainte.

Le CNCP a fait appel à une équipe d'assistance à maîtrise d'ouvrage menée par Anne-Laure Nogué (ITG Construction), pour l'aider dans la définition de ce projet. Nous avons choisi de l'interviewer afin de découvrir ce qu'est l'AMO-paille et comment elle s'est organisée pour le projet du CNCP.

**En quoi consiste une AMO paille ?**

Une AMO paille est un accompagnement opérationnel avec une connaissance suffisante des spécificités du matériau pour anticiper par exemple le sourcing des intervenants, une enveloppe budgétaire cohérente, un planning pour une mise en œuvre à la belle saison, la capacité de stockage, la logistique etc.

**Quel est l'intérêt pour le maître d'ouvrage de cet accompagnement spécifique ?**

La capacité à accompagner, conseiller et rassurer un maître d'ouvrage novice dans le recours au matériau paille. La bonne compréhension des besoins des différents contributeurs au projet et le lien entre les professionnels expérimentés et ceux qui le sont moins.

**Est-ce que l'AMO paille peut contribuer au développement de la commande publique ?**

Oui, en mettant en avant les retours d'expérience des constructions en paille, en rédigeant un programme d'opération ouvert aux solutions biosourcées, en conseillant des stratégies d'achat adaptées, et en veillant à ce que les documents de consultation soient cohérents avec la stratégie du maître d'ouvrage en termes de performance recherchée.

## **Existe-t-il un cahier des charges AMO paille avec compétences et savoir-faire identifiés ?**

Pas à ma connaissance. Pour le projet du CNCP, le cahier des charges de la mission AMO n'imposait pas de spécificité, a minima une formation Pro-Paille et une connaissance des thématiques de l'écoconstruction.

Dans les documents de consultation du maître d'œuvre, la formation Pro-Paille était requise et les références présentées par les candidats parlaient d'elles-mêmes, démontrant ainsi leur pleine maîtrise d'une ou plusieurs techniques !

## **Votre travail au CNCP a intégré une réflexion sur un bâtiment à rénover, inscrit monument historique et la nouvelle construction du centre de formation. Quel est le retour d'expérience sur ce projet ?**

La mission AMO pour le CNCP démarre en faisabilité/pré-programme et se poursuit jusqu'à la dépose du permis de construire par l'architecte, c'est donc une mission réalisée dans les phases amont.

Le contexte est tout à fait particulier puisque le maître d'ouvrage est une association de constructeurs en paille. Nul besoin de les convaincre que c'est possible, que c'est légitime, que la filière est organisée et dynamique !

L'inscription du hangar et de la maison Feuillette au titre des Monuments Historiques ne remet pas en cause les travaux décidés à ce stade ; une concertation démarre avec les services instructeurs (urbanisme, architecte des bâtiments de France, etc.) pour s'assurer que rien ne fera obstacle au projet de création du centre de formation du CNCP à Montargis. Dans tous les projets, la concertation volontaire est une étape cruciale pour faire connaître et ajuster les éléments d'aménagement.

L'interview d'Aymeric Prigent fait part de l'expérience de l'agence ACCORT-Paille dont l'AMO-paille est une spécialité depuis 2016 : de la phase conception du bâtiment jusqu'au suivi qualité.

## **En quoi consiste une Assistance à Maîtrise d'Ouvrage-paille ?**

L'utilisation de la botte de paille, matériau agricole non industrialisé, est aujourd'hui un défi pour la majorité des acteurs du bâtiment. Il s'agit d'un matériau avec de nombreux avantages mais également des contraintes bien particulières et un réseau d'approvisionnement totalement en dehors des canaux habituels du monde de la construction. Malgré la formation des différents acteurs, les techniques et projets étant tous uniques, il y a une réelle nécessité d'accompagnement tout au long du projet pour assurer son bon déroulement.

L'AMO-paille est là pour faciliter le travail de l'ensemble des acteurs et faire en sorte que le projet se passe bien. Il s'assure entre autre que les informations importantes circulent bien et que les règles de l'art soient bien respectées. Il peut également être un interlocuteur des bureaux de contrôle, assureurs et autres commissions de sécurité pour la bonne compréhension et prise en compte des règles de conception et de mise en œuvre du matériau paille.

## **Existe-t-il un cahier des charges AMO-paille avec compétences et savoir-faire identifiés ?**

Il n'existe pas de cahier des charges national ou partagé mais depuis 4 ans maintenant, ACCORT-Paille a développé ses process et méthodes pour offrir aux différents types de maîtrise d'ouvrage l'accompagnement qui leur correspond le mieux.

Évidemment, cela nécessite de la part des personnes qui assureront le suivi AMO qu'elles soient formées Pro-Paille. Cela va ensuite bien au-delà : qu'elles maîtrisent les règles professionnelles de la construction en paille parfaitement ainsi que le corpus réglementaire associé (structure bois, thermique, sécurité incendie, etc.). Il est également très important de justifier d'une réelle expérience de terrain pour savoir ce qui est réaliste ou non, un AMO ne peut pas être "hors sol", il doit être au contact des entreprises et des concepteurs en permanence.

**Depuis que vous pratiquez ce type d'accompagnement, que pouvez-vous nous dire de vos retours d'expériences ? L'AMO paille devient-elle une spécialisation reconnue ?**

Le retour d'expérience est très positif et souvent la mission d'AMO-paille permet aussi d'apporter des solutions dans des domaines connexes. Par exemple, sur un projet que j'accompagne, grâce à l'apport d'une vision globale nous avons relevé que le dégagement de chaleur d'une salle dédiée à la restauration pouvait être valorisé comme chauffage du bâtiment et que nous pouvions ainsi supprimer le système de chauffage prévu initialement. Cela a été possible parce que le bâtiment a un besoin de chaleur très faible grâce à son isolation en paille.

**La création d'une formation AMO-Paille est-elle envisageable ?**

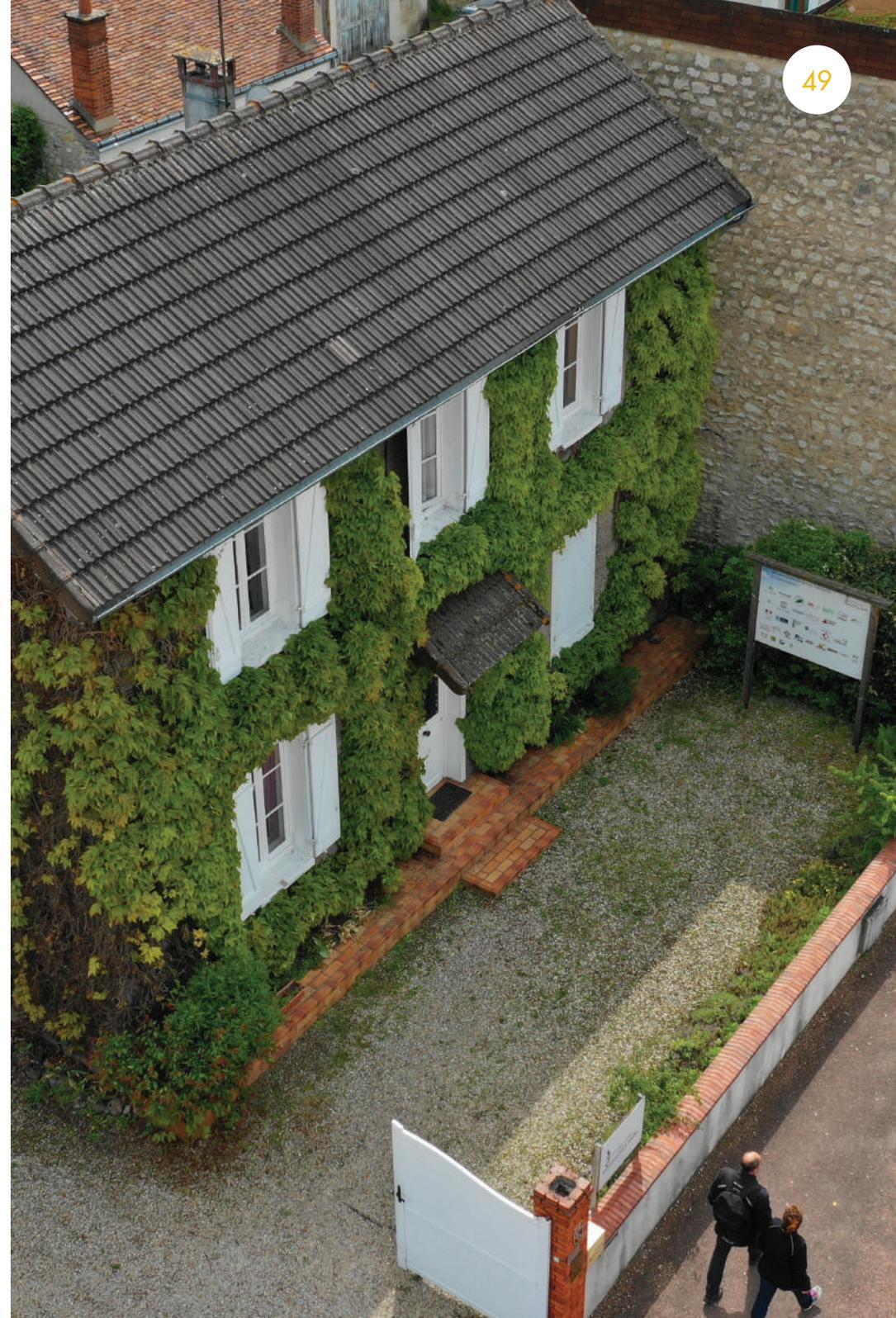
A terme peut-être, mais aujourd'hui il s'agit plutôt d'une formation de terrain accompagnée et suivie par des personnes expérimentées.

**Sur le marché de l'AMO est-ce qu'il y a de plus en plus de missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage qui concernent la paille ?**

Oui c'est certain, l'acte de bâtir devenant de plus en plus technique et complexe, les missions d'AMO se développent dans tous les domaines mais surtout sur les sujets innovants : labellisation HQE, biodiversité, biosourcés, etc.

**Comment voyez-vous le marché des biosourcés en France dans la construction et la rénovation ?**

C'est un marché qui est très inégal en fonction des territoires. Certaines régions les utilisent beaucoup et d'autres très peu mais d'une manière générale, on voit une tendance en forte hausse. Au niveau de la paille, nous n'avons aucun souci en terme de quantité de ressource et d'approvisionnement mais nous commençons à entrevoir que la limite de développement va être celle de la filière bois qui a besoin de monter en puissance partout en France.





## Abbaye Benedictine de Plankstetten (Berching - Allemagne)

Des moines construisent avec leur propre bois et paille

### Pourquoi avez-vous construit un nouveau bâtiment dans votre monastère ?

Depuis 1998, les bâtiments historiques et classés du monastère ont été rénovés au cours de plusieurs phases de construction. Le nouveau bâtiment, la « Haus St. Wunibald » est un sous-projet de la rénovation de l'ensemble de notre Abbaye Bénédictine. Nous avons besoin de ce bâtiment pour accueillir nos hôtes pendant les travaux de rénovation des chambres existantes ; de plus, nous voulons augmenter la capacité d'accueil de nos hôtes. Le bâtiment polyvalent abritera également l'administration paroissiale et un jardin d'enfants.

### Vous avez choisi la construction en paille parce qu'elle correspond à votre mission spirituelle de préserver la création. Avez-vous rencontré une opposition à cette idée ?

Au tout début, l'équipe du projet était sceptique à l'égard d'idées proposées par des moines, et même les sponsors avaient des doutes. Mais nous, nous avons obstinément maintenu notre objectif de construction écologique et durable utilisant nos propres matières premières.

## EN BREF

**TYPE DE PROJET**  
Construction

**TYPE DE BÂTIMENT**  
Hébergement collectif principalement

**MAÎTRISE D'OUVRAGE**  
Abbaye Benedictine de Plankstetten

### INTERVENANTS :

- Gestionnaire de chantier : Engineering office Seibold + Seibold
- Architecte : Hirner + Riehl Architekten BDA
- Bureau d'étude : LERZER ING + Plan GmbH
- Constructeur bois : Holzbau Bogner GmbH

**ANNÉE DE CONSTRUCTION**  
2021

**SURFACE (UTILE)**  
1.555 m<sup>2</sup>

**TOTAL COST**  
6.000.000 € - 3.858€/m<sup>2</sup>\*

**TECHNIQUE DE CONSTRUCTION PAILLE**  
Préfabrication de caissons en bois isolé avec des ballots de paille

**VOLUME DE PAILLE POUR LE PROJET (M<sup>3</sup>)**  
300 m<sup>3</sup>

**DISTANCE ENTRE LA FOURNITURE DE PAILLE ET LE PROJET**  
5 km

\*ces coûts sont plus élevés qu'habituellement dus à des contraintes spécifiques telles que la protection du patrimoine culturel, la sécurité incendie, ainsi que les aléas géologiques au niveau du terrain.



**Pour le nouveau bâtiment, il vous fallait 300 m<sup>3</sup> de paille. Ce volume provenait-il entièrement de votre ferme ?**

Oui, il était important pour nous d'utiliser notre propre paille comme matériau de construction. Ainsi, nous pouvions garantir une qualité biologique et bénéficier de circuits d'approvisionnement courts. Grâce à la presse mobile de la société autrichienne SonnenKlee GmbH, nous avons produit plus de 2000 bottes de paille sur place à partir de nos gros ballots et nous les avons fait classer comme matériau de construction par Baustroh GmbH. Les bottes finies étaient stockées temporairement dans nos granges.

**D'où proviennent les 400 m<sup>3</sup> de bois de charpente et quel type de bois avez-vous utilisé ?**

Tant pour la structure du bâtiment que pour l'intérieur, nous n'utilisons que de l'épicéa qui provient à 100 % de la forêt de notre monastère. Nous avons sélectionné environ 500 arbres pour ce projet.

**Avez-vous rencontré des difficultés pour obtenir le permis de construire pour St. Wunibald ?**

Non. Cependant, la concertation avec les parties prenantes du processus de construction et avec les autorités compétentes avant le dépôt de la demande officielle de permis a été très utile. Nous avons notamment consulté les autorités compétentes en construction, l'office de protection des monuments, le département de la santé et les responsables incendie et protection de la nature.

**Comment s'est déroulée la procédure d'adjudication ?**

En raison de la taille du budget du projet St. Wunibald, qui était d'environ 6 millions €, et du fait que les subsides constituent une portion importante du budget, une procédure d'adjudication devait être effectuée conformément aux directives européennes. La procédure d'adjudication pour l'équipe de planning a été lancée en 2012 par un spécialiste conformément à la réglementation d'attribution des marchés. Des marchés ont été attribués pour le planning, le planning sectoriel, la gestion de la construction et la

construction du bâtiment. L'appel d'offres européen a été publié sur une plate-forme Internet ([www.aumass.de](http://www.aumass.de)).

### **Quels ont été les avantages et les désavantages de cette procédure ?**

L'avantage a été que la plate-forme en ligne facilitait le processus et évitait l'utilisation de papier. En termes d'inconvénients, nous avons constaté que les petites entreprises régionales de construction n'étaient pas encore familiarisées avec cette forme numérique d'appels d'offres.

### **La majorité des entreprises sélectionnées sont régionales. Pourquoi ?**

Suite au boom actuel dans le secteur de la construction, il a été difficile d'obtenir suffisamment d'offres. Finalement, environ 70 % des contrats de construction ont été signés avec des entreprises situées dans un rayon de 30 km. Cela s'est avéré être un avantage pour le projet de construction et les entreprises régionales de construction ont également bénéficié du fait qu'elles se trouvaient à proximité du chantier, par exemple. De plus, le nouveau bâtiment St. Wunibald est un projet de prestige pour les entreprises participantes.

Pour éviter que certaines entreprises soient favorisées dans l'appel d'offres, la procédure était totalement transparente. Une mesure prise pour garantir cette transparence était de connecter la plate-forme Internet des offres européennes au site Internet du monastère. Ainsi, chaque visiteur sur le site Internet pouvait être informé des projets faisant l'objet d'appels d'offres.

### **Y a-t-il eu des difficultés au niveau du planning en raison de l'utilisation de la paille comme matériau de construction ?**

Le bureau d'architecture et les ingénieurs du génie civil participaient pour la première fois à un projet de construction paille et ont dû réaliser un projet très exigeant. Par conséquent, le planning a été un défi pour toutes les parties prenantes. Cependant, Hirner & Riehl Architekten de Munich est un bureau d'architectes hautement expérimenté et ses membres, tout comme l'ingénieur du génie civil M. Lerzer, sont fortement déterminés, courageux et ouverts aux idées nouvelles, et ils sont tous intéressés par la construction

durable. La coopération harmonieuse avec les ingénieurs en protection incendie de Rassek & Partner a également été un facteur important de la réussite du planning.

### **Quelles étaient les exigences en matière de sécurité incendie ?**

Le bâtiment est un « bâtiment spécial » (« Sonderbau ») selon les réglementations architecturales de Bavière, et il doit donc respecter les conditions les plus strictes, notamment en termes de protection incendie. Par rapport à d'autres pays, les règles de protection incendie en vigueur en Allemagne sont généralement très strictes, que le matériau de construction soit de la paille ou autre chose. Le bureau de protection incendie Rassek & Partner a mis au point un concept de protection incendie pour nous, en coordination avec l'architecte et l'ingénieur de génie civil, qui respectait toutes les conditions. Une partie essentielle du concept était la construction de murs extérieurs. Ceux-ci contiennent une couche incombustible à l'intérieur et à l'extérieur : un enduit à l'argile à l'intérieur et un panneau de placoplâtre à l'extérieur. De plus, les voies d'évacuation et de sauvetage sont construites en béton et on a installé un système d'alarme incendie avec des détecteurs dans toutes les pièces, qui est directement relié au centre de dispatching des pompiers.

### **Quelles étaient les difficultés de production des murs isolés à la paille ?**

Le bâtiment tout entier a été assemblé à partir de 50 murs remplis de paille, 25 plafonds et de nombreux éléments de toiture, ce qui en fait l'un des plus grands bâtiments construits en bottes de paille en Allemagne. L'entreprise de menuiserie Holzbau Bogner GmbH, pour qui c'était la première construction utilisant la paille comme isolant, a décidé de pré-fabriquer les éléments de construction en deux équipes dans l'atelier et de les stocker provisoirement sous un chapiteau installé spécialement pour ce projet. Par beau temps, les éléments bois-paille, sensibles à l'humidité, devaient ensuite être livrés, érigés et assemblés rapidement. On a ensuite utilisé une bâche temporaire perfectionnée pour protéger la structure du bâtiment jusqu'à la pose du revêtement final.

**En quoi la paille comme matériau de construction est-elle avantageuse en termes d'isolation et protection thermique du bâtiment ?**

En tant que matériau isolant, la paille répond à toutes les normes d'isolation courantes. Nous les constructeurs, nous avons l'ambition de construire un bâtiment conforme à la norme de maison passive, et nous l'avons fait.

**Quelles directives ont été utilisées comme base pour la construction avec de la paille ?**

En Allemagne, la paille est reconnue comme matériau de construction depuis 2006. Cette méthode de construction est décrite dans le guide de construction paille de l'association allemande de construction en bottes de paille (Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.). Sur cette base, les entreprises spécialisées ont pu se familiariser avec cette méthode.

**Comment ont réagi les compagnies d'assurance construction à une demande d'assurance d'un bâtiment isolé avec de la paille ?**

Il n'y a pas eu de réaction. La prime d'assurance construction est basée sur le coût de construction et non sur les matériaux utilisés.

**Recommanderiez-vous la méthode de construction paille à d'autres propriétaires d'immeubles publics et si oui, pourquoi ?**

Nous, les moines, recommandons la construction en bois et paille à tous les constructeurs désireux de protéger le climat et préserver les ressources de la Terre pour les générations futures. Cette méthode de construction est maintenant techniquement au point et offre un équilibre écologique excellent.





## INFORMATIONS POUR SE FAMILIARISER

Les informations que nous vous présentons ont été développées par les partenaires du projet européen Interreg NWE UP STRAW afin de booster le secteur de la construction paille et de lever un maximum de freins. Le but est de vous permettre, en tant que maître d'ouvrage, de vous familiariser avec la construction paille.

### 1. Une bibliothèque

Le projet UP STRAW a permis de collecter et mettre à disposition une bibliothèque de plus de 400 publications sur la construction en paille.

### 2. Un MOOC : Construire le changement - Naturellement

La formation est essentielle pour développer la construction paille. Les partenaires du projet UP STRAW ont mis sur pied un cours d'enseignement à distance bilingue français/anglais.

### 3. Un réseau national : le Réseau Français de la Construction Paille

Informations techniques, exemples de réalisations, annuaire de professionnels : le Réseau Français de la Construction Paille est votre point de contact privilégié pour tout renseignement !

## BIBLIOTHÈQUE

Le projet européen Interreg NWE UP STRAW a permis de collecter et mettre à disposition une bibliothèque de plus de 400 publications sur la construction en paille.

Les documents sont de tout type : site web, documents PDF, vidéos, documents techniques, publications scientifiques, Avis Techniques, tests de laboratoires, etc.

Les publications couvrent tous les sujets relatifs à la construction : aspects réglementaires, techniques de construction, performances techniques et environnementales, sécurité incendie, acoustiques, publications scientifiques, etc.

L'accès au contenu à la bibliothèque est gratuit mais l'inscription est obligatoire. En vous inscrivant sur cette base de données, vous vous engagez à ne pas diffuser ces documents et nous nous engageons à ne pas diffuser vos informations.

### PLUS D'INFOS :

<https://rbfcpaille.wixsite.com/website/bibliotheque>

## MOOC

Les partenaires UP STRAW ont créé un MOOC (formation en ligne ouverte à tous) sur la construction paille. La formation bilingue anglais/français s'appelle « Building for change-Naturally / Construire le changement – Naturellement ».

Cette formation gratuite de six semaines est ouverte à tous et aborde les origines de la construction en paille, les performances de ce matériau naturel, la gestion d'un projet de construction en paille et bien plus. Elle permet de découvrir les techniques de construction en paille mais aussi d'améliorer les connaissances dans ces techniques. À la fin du MOOC un quiz final validera les acquis et permettra aux participants de recevoir une attestation de réussite.

Ce MOOC est le fruit d'un travail collaboratif des partenaires du projet et a été coordonné par l'association française ACCORT-Paille. Il est hébergé par la Plateforme Bâtiment Durable de l'ADEME.

### PLUS D'INFOS :

[www.mooc-batiment-durable.fr](http://www.mooc-batiment-durable.fr)

## RFCP

Le Réseau Français de la Construction Paille est né en 2006 par la volonté des premiers acteurs à promouvoir et faire reconnaître l'usage de la paille dans le bâtiment. 5 ans après, le travail est récompensé par la validation des premières Règles Professionnelles de la construction en paille.

Depuis, ces Règles ont été mises à jour deux fois et l'association est l'interlocutrice des institutions du pays. Elle est aussi garante de la formation professionnelle « Pro-Paille » dispensée dans toute la France ; et met en place un réseau d'Experts afin de répondre à la demande de sécurisation du marché liée à sa forte croissance.

Aujourd'hui, le Réseau rassemble 650 adhérents et fédère les acteurs de la filière (professionnels de la construction, fournisseurs, centres de formation, associations régionales).

### PLUS D'INFOS :

[www.rfcp.fr](http://www.rfcp.fr)



## OUTILS POUR PRÉPARER VOTRE MARCHÉ

Les systèmes constructifs utilisant le bois et la paille sont parmi les meilleures solutions pour réduire l'impact environnemental des bâtiments. Vous en êtes convaincu ? Les partenaires du projet UP STRAW ont développé des contrats-types pour vous aider.

### **Assistance à maîtrise d'ouvrage**

Une AMO paille est un accompagnement opérationnel avec une connaissance suffisante des spécificités du matériau pour anticiper par exemple le sourcing des intervenants, une enveloppe budgétaire cohérente, un planning pour une mise en œuvre à la belle saison, la capacité de stockage, la logistique, etc. L'intérêt pour le maître d'ouvrage de faire appel à ce type d'expertise réside dans la capacité à accompagner, conseiller et rassurer un maître d'ouvrage novice dans le recours au matériau paille.

### **Guide de la Commande publique**

Ce guide a pour objectif de faciliter l'utilisation de la botte de paille comme matériau d'isolation dans le cadre des marchés publics.

Il s'appuie sur l'expertise et l'expérience de terrain des professionnels de la construction paille.

### **Ressources complémentaires**

Le RFCP et ses partenaires mènent un grand nombre d'actions afin de caractériser le matériau « botte de paille ».

Il s'agit notamment de la définition des procédures d'essais les plus adaptées, de la confection d'échantillons et de maquettes, de la préparation et de l'organisation des essais, du recueil des données, de la rédaction de la documentation, de la diffusion des résultats, des discussions et actions auprès des autorités...

## Consultation AMO

Consultation d'une assistance à maîtrise d'ouvrage.

Ce texte est destiné aux Maîtres d'Ouvrage qui désirent lancer une consultation pour être accompagnés par un consultant sur les questions de performances techniques et environnementales de leurs projets de bâtiments.

Il précise le contenu de la mission du consultant. Le format de ce document est librement éditable et le contenu final est donc de la responsabilité du Maître de l'Ouvrage éditant le document.

Un exemple appliqué pour une consultation d'un expert en construction paille est disponible sur le site du Réseau Belge francophone de la Construction Paille (RBfCP).

**PLUS D'INFOS :**  
jemadresse@rfcp.fr

## Guide de la commande publique

A travers ce guide, nous souhaitons mettre en avant plusieurs éléments clés :

L'utilisation de la botte de paille dans les bâtiments publics est une pratique courante, comme en témoignent les nombreuses réalisations sur des typologies variées : mairies, écoles, crèches, gymnases, bibliothèques, pépinières d'entreprises... réalisées, pour la plupart, au prix du marché.

Cette réalité montre à quel point les freins réglementaires, assurantiels, économiques... ont été levés par les acteurs de la filière sous la coordination du Réseau Français de la Construction Paille.

**PLUS D'INFOS :**  
[go.rfcp.fr/GuideCommandePublique-MaitresOuvrage](http://go.rfcp.fr/GuideCommandePublique-MaitresOuvrage)

## Ressources réglementaires et normatives

Le RFCP et ses partenaires mènent un grand nombre d'actions afin de caractériser le matériau « botte de paille » et permettre son utilisation dans l'exigence du marché français.

Ainsi, nous savons que les murs isolés en paille et enduits offrent une résistance au feu exceptionnelle de 120 minutes.

Nous savons également que la paille apporte un bon affaiblissement acoustique ou encore qu'elle n'offre pas de nourriture suffisamment nutritive pour permettre la survie des termites.

Pour faciliter l'accès à la construction paille, tous les essais et rapports de laboratoire sont en libre téléchargement sur notre site.

**PLUS D'INFOS :**  
[go.rfcp.fr/Ressources-Reglementaires-et-Normatives](http://go.rfcp.fr/Ressources-Reglementaires-et-Normatives)



## POUR ALLER PLUS LOIN

Vous avez un projet de construction ou rénovation utilisant de la paille ? Les articles et publications de ce chapitre pourront aider vos architectes et entreprises à travailler sur vos projets.

### Règles professionnelles

Les Règles professionnelles de construction en paille constituent le cadre normatif reconnu par les assureurs et bureaux de contrôle, dans lequel les concepteurs et constructeurs s'inscrivent.

Elles font partie du domaine traditionnel et des techniques courantes de construction, au même titre que les DTU.

### Analyse de cycle de vie

L'analyse du cycle de vie, ou ACV, est une méthode d'évaluation des

impacts environnementaux. La paille, en tant que matériau d'isolation, peut relever ce défi en offrant des niveaux élevés d'isolation associés à un matériau à faible impact environnemental.

### Technique de préfabrication

La préfabrication consiste à construire des éléments de parois ou des modules de bâtiment dans un atelier. Ces parois peuvent être semi-finies ou finies avec les enduits ou des parements de finition. Les avantages de la préfabrication sont nombreux.

### Technique d'insufflation

Les techniques de construction utilisant des bottes de paille donnent inévitablement une épaisseur de mur minimale due à la taille de la botte. Avec la paille insufflée, les dimensions des murs sont plus libres.



## Les Règles Professionnelles

Les Règles professionnelles de construction en paille constituent le cadre normatif français mais représentent également une des références les plus détaillées en Europe.

Elles recouvrent l'utilisation de la paille en tant que remplissage de parois et en tant que support d'enduit.

Acceptées en 2011 par le secteur du bâtiment et de l'assurance via la C2P (Commission Prévention Produits), les Règles professionnelles font partie du domaine traditionnel et des techniques courantes de construction, au même titre que les DTU.

Les Règles pro s'adressent aux concepteurs, constructeurs et bureaux de contrôle.

Elles détaillent les propriétés du matériau botte de paille, les systèmes constructifs liés à l'usage de la paille (structures, isolation), la gestion des interfaces entre corps d'état (menuiseries, équipements techniques), ainsi que la mise en œuvre des enduits, des bardages et des vêtements.

De nombreux documents pratiques sont proposés en annexe : cahier des charges, bordereaux, procédures et fiches de contrôle qualité, méthodes de calcul, cartes des conditions climatiques...



## Analyse du cycle de vie : vers une généralisation ?

### Qu'est-ce qu'une analyse du cycle de vie ?

L'analyse du cycle de vie, ou ACV, est une méthode d'évaluation des impacts environnementaux. Celle-ci tient compte de tous les aspects de l'utilisation des ressources d'un système industriel, depuis le berceau jusqu'à la tombe. Plus précisément, il s'agit d'une vision holistique des interactions environnementales qui couvrent une gamme d'activités depuis l'extraction des matières premières, en passant par la production, l'utilisation de l'énergie jusqu'à la réutilisation ou l'élimination finale d'un produit. L'ACV a pour objectif d'aider les décideurs à comparer tous les impacts environnementaux majeurs lorsqu'ils doivent choisir des alternatives.

L'ACV a été définie comme une méthode générique applicable dans l'ISO 14040 et l'ISO 14044. Une documentation exhaustive sur l'ACV est disponible dans le Guide de l'ILCD [ILCD 2011a, 2011b, 2010c]. Des définitions plus spécifiques sur la réalisation des ACV dans l'industrie

de la construction sont reprises dans les normes EN 15804 et EN 15978.

### Pourquoi les ACV sont-elles importantes pour le secteur de la construction ?

Au cours des 20 dernières années, l'efficacité énergétique est devenue un aspect de plus en plus important de la programmation et de l'évaluation des bâtiments, ainsi qu'un sujet de législation au sein de l'UE. En conséquence, la consommation d'énergie opérationnelle des bâtiments neufs et rénovés a considérablement diminué au cours de cette période.

La Figure 1 montre le rapport entre l'énergie opérationnelle en phase d'exploitation du bâtiment (pour les utilisations réglementées telles que le chauffage, la ventilation, le refroidissement et l'éclairage selon la réglementation thermique) et l'énergie « grise » due à la fabrication des produits de construction et à leur fin de vie. Pour les bâtiments plus anciens,



la phase d'utilisation domine largement toutes les autres étapes du cycle de vie. Les nouveaux bâtiments quant à eux peuvent avoir une consommation très faible s'ils sont conformes à la norme Passivhaus (moins de 15 kWh d'énergie finale par m<sup>2</sup> par an pour le chauffage). Les nouvelles constructions « à énergie positive » peuvent même être des producteurs nets d'énergie. Par conséquent, le rapport entre les impacts opérationnels (phase d'utilisation) et l'impact des matériaux (par ex. pour la production et la gestion en fin de vie) est maintenant du même ordre de grandeur.

Ces changements soulignent, qu'en plus d'optimiser la phase d'utilisation d'un bâtiment, il est également important de tenir compte des impacts des matériaux utilisés dans sa construction.

Par conséquent, la conception de bâtiments performants doit maintenant tenir compte de l'analyse du cycle de vie « du berceau à la tombe »; la consommation d'énergie en exploitation n'étant qu'un aspect environnemental dans un cadre multicritère.

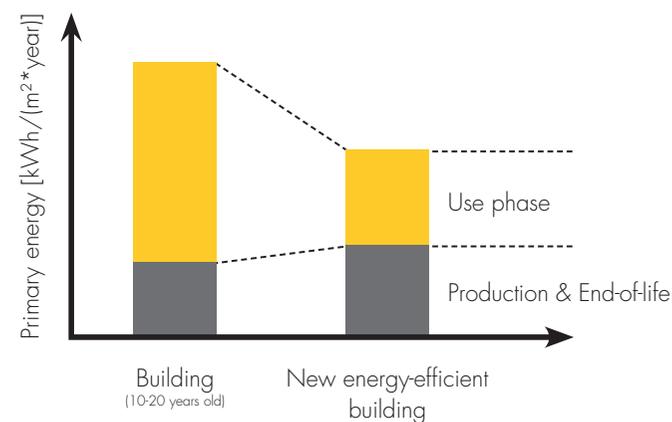
La paille, en tant que matériau d'isolation, peut relever ce défi en offrant

des niveaux élevés d'isolation associés à un matériau à faible impact environnemental.

### Le collège Notre-Dame de Bon Secours à Binche

Le Collège est la première école utilisant la paille comme isolation en Wallonie (Belgique). Le bâtiment, en service depuis 2017, a une surface utile de 532 m<sup>2</sup> pour 8 salles de classe.

Figure 1



La paille est utilisée pour l'isolation des murs. Les caissons bois/paille recouverts d'un enduit d'argile sont préfabriqués en usine par l'entreprise Paille-Tech. Le toit et la dalle de sol sont quant à eux isolés avec du liège. La ventilation est assurée par une centrale à double-flux avec un rendement d'échange de chaleur de 80%. L'étanchéité à l'air a été estimée par un test d'infiltrométrie à 0.51 volume par heure (inférieur à l'exigence Passivhaus de 0.6 volume par heure). Les fenêtres extérieures sont en double vitrage. La consommation de chauffage, calculée par simulation énergétique du bâtiment, est estimée à 37 kWh/m<sup>2</sup>.an.

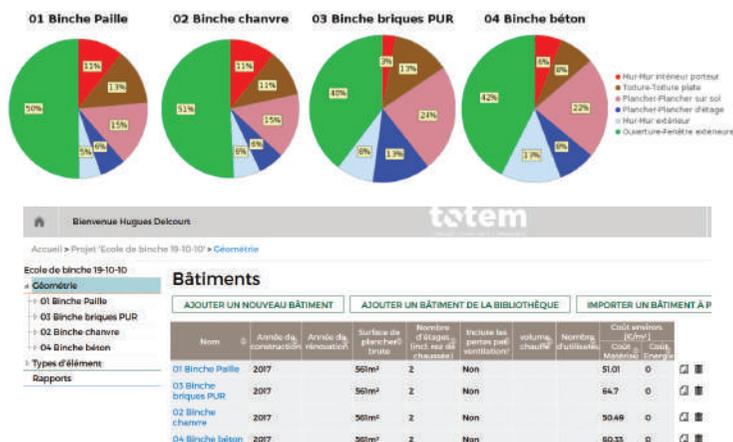
### Analyse du cycle de vie de l'école

En Belgique, un outil d'évaluation de l'ACV des bâtiments, TOTEM, est développé par les autorités régionales. Pour l'instant, cet outil utilise essentiellement des données génériques de la base de données Eco-invent.

Dans l'outil TOTEM, 17 impacts environnementaux sont évalués et un facteur de monétarisation est appliqué à chaque impact pour montrer des résultats sous la forme d'un score unique exprimé en euros/m<sup>2</sup> correspondant théoriquement à la compensation des impacts du projet.

L'évaluation initiale est basée sur le bâtiment en paille existant. Une alternative avec une isolation en chanvre a été testée. Ces bâtiments ont également été comparés aux solutions de constructions traditionnelles en Belgique : structure en béton avec isolation en laine minérale et briques avec isolation PU.

Figure 2



Les impacts totaux des produits de construction et de la consommation d'énergie sont ensuite résumés par un indicateur du coût d'impact en euro par m<sup>2</sup> de surface brute.

La Figure 2 montre l'impact monétarisé des matériaux de construction pour chaque alternative.

C'est avec la solution paille que l'impact est le plus faible avec un coût environnemental de 51 €/m<sup>2</sup>. Le coût le plus défavorable (65 €/m<sup>2</sup>) est l'alternative brique/PU. La version paille permet donc d'économiser 27 % du coût environnemental par rapport à cette solution traditionnelle. Notons que la différence entre ces deux scénarios n'est pas seulement due aux matériaux d'isolation. La structure du bâtiment est également spécifique à chaque technique.

TOTEM analyse les impacts de chaque lot de bâtiments. Il permet donc aux concepteurs d'identifier les lots les plus coûteux au niveau environnemental et de trouver des alternatives.

Un bâtiment à faible impact dépend de chaque partie de la construction : la paille seule ne fait pas un projet à faible impact environnemental, mais il peut être un facteur déterminant pour réduire ces impacts. Par exemple, les murs de paille représentent 1 % de l'impact total du bâtiment mais pour la solution utilisant des briques et une isolation en polyuréthane, les murs représentent 11 % de l'impact total.

Les revêtements de sol en PVC et les plaques de gypse affectent également beaucoup les résultats de l'ACV.

Dans le cas de l'école de Binche, la Figure 2 montre que les fenêtres ont un impact majeur quel que soit le cas étudié.

L'impact du chauffage au gaz a été estimé et est du même ordre de grandeur que celui des matériaux. L'utilisation de granulés de bois pourrait réduire ce score de 50 % mais l'émission de particules serait plus élevée. L'impact de la consommation d'électricité n'est pas inclus dans cette analyse, mais serait du même ordre de grandeur que le chauffage.

### **L'ACV soulève une question importante : est-il pertinent d'aller vers des standards de construction du niveau Passivhaus ?**

Dans le cas de l'école de Binche, l'isolation de l'enveloppe externe est bonne et la ventilation dispose déjà d'un échangeur de chaleur à haut rendement. L'amélioration la plus significative pourrait être apportée par l'utilisation de triple vitrage. Or, le vitrage est déjà un contributeur majeur des impacts environnementaux. Par conséquent, la réduction de l'impact du chauffage augmenterait l'impact des matériaux.

### **Conclusion**

La construction en paille représente ici l'impact environnemental le plus faible et l'impact du chauffage est du même ordre de grandeur que celui des matériaux.

L'impact de l'ensemble des matériaux de construction dépend de chaque lot et la paille est une option pertinente pour contribuer à la réduction des impacts de l'enveloppe externe.

Les fenêtres sont des contributeurs majeurs à l'impact environnemental des matériaux. Les concepteurs doivent choisir avec soin le type et les surfaces de fenêtres car il s'agit d'un organe vital du bâtiment dont dépendent de nombreux facteurs : apports solaires, lumière naturelle, déperditions de chaleur, performance acoustique, confort de vue et ACV.

Les outils d'ACV peuvent aider à évaluer le choix des produits de construction et donner des orientations aux concepteurs pour réduire l'impact environnemental global des bâtiments. Cependant, il faut être

prudent quant à l'utilisation d'ACV pour comparer des bâtiments car ces outils ne considèrent que les matériaux de construction. Les équipements techniques tels que production/distribution d'énergie, gaines et canalisations ou équipements sont actuellement peu pris en compte. Or ces réseaux étant composés de métal, ils seraient susceptibles d'avoir un impact environnemental significatif.





## Préfabrication et construction en paille : le secteur est entré dans l'ère de la 4D !

---

### Introduction

La paille permet la construction de bâtiments à très haute performance énergétique et à très faible impact environnemental. Ce matériau est le moins cher des isolants mais il nécessite une main d'œuvre plus importante qui peut impacter le prix de fourniture des parois en paille.

Si le coût de la main d'œuvre n'est pas un problème pour les auto-constructeurs, il peut en revanche être un frein pour les Maîtres d'Ouvrage faisant appel à des professionnels qui rémunèrent décemment leurs équipes. Certains professionnels de la construction ont donc développé des systèmes de préfabrication afin d'accélérer la construction des parois tout en assurant des finitions de qualité.

### Définition et avantages de la préfabrication

La préfabrication consiste à construire des éléments de parois (murs, planchers, toitures) ou des modules de bâtiment dans un atelier. Ces parois peuvent être semi-finies ou finies avec les enduits ou des parements de finition, elles sont ensuite transportées et assemblées sur le chantier. La préfabrication est envisageable aussi bien pour un auto-constructeur que pour des professionnels.

Les avantages de la préfabrication sont nombreux, citons notamment :

- **Gain de temps** : la pose de l'enduit est une étape très consommatrice de temps, il est possible de réaliser les enduisages horizontalement en atelier, ce qui est beaucoup plus rapide et permet une meilleure finition. La phase de chantier est également fortement réduite : les



panneaux sont amenés sur site et assemblés sur site, l'enveloppe du bâtiment est réalisée en quelques jours.

- **Absence de contraintes météorologiques** : en travaillant en atelier, l'assemblage et l'enduisage des panneaux peuvent être réalisés toute l'année, dans de meilleures conditions de confort, indépendamment des conditions climatiques.
- **Gain qualité** : l'atelier peut aussi être organisé comme une chaîne de production, les techniques mises en œuvre pour l'assemblage peuvent être standardisées et reproduites sur chaque panneau pour assurer le même niveau de finition sur l'ensemble du bâtiment. L'atelier peut être équipé de système de levage pour faciliter la manutention des panneaux.
- **Faible investissement** : Un atelier de préfabrication peut être initié avec un faible investissement. Il est possible de lancer une production avec quelques outils élémentaires tels que des outils de découpe du bois, des visseuses, des lisseuses, etc. Il est ainsi possible d'envisager des usines mobiles installées à côté des chantiers.

### Approvisionnement et qualité des matériaux

Les critères de qualité de la paille en construction sont identiques en auto-construction et en préfabrication. Il s'agit essentiellement de critères de densité des bottes et d'humidité de la paille mais d'autres critères sont pris en compte comme la régularité des bottes et les conditions de stockage. Certains pays ont déjà défini des critères de qualité comme la France dans les Règles professionnelles de la construction en paille ou l'Allemagne dans son avis technique sur l'isolation à base de paille. La procédure de contrôle proposée par le projet UP STRAW reprend les exigences des procédures existantes et est proposée sous la forme d'un fichier de tableur afin de faciliter la saisie et l'édition d'un rapport lors du contrôle des bottes. Les pays ne disposant pas de procédure de contrôle de la paille peuvent donc utiliser les critères existants en France ou en Allemagne, ils peuvent également adapter le tableur à condition de ne pas modifier les critères de qualité.



Un sourcing devrait être réalisé dès le début du projet pour identifier les fournisseurs de paille potentiels. Il est en effet important de vérifier la qualité des bottes et les dimensions exactes de ces dernières influenceront le choix des systèmes constructifs.

### Conception du bâtiment

Le choix du système de préfabrication doit être défini dès les premières phases d'esquisse car le système retenu influencera les détails constructifs. S'agissant de préfabrication, ces détails doivent être validés avant la préfabrication afin d'éviter les défauts lors de l'assemblage. Les points de vigilances sont notamment :

- Les liaisons mur/plancher (bas, haut, intermédiaire)
- Les liaisons mur/toiture
- Les liaisons murs/fenêtre
- Le type de pose des fenêtres
- La garantie de l'étanchéité à l'air et aux précipitations
- Les raccords et finitions entre panneaux
- Les passages de réseaux

Plus les détails de construction seront très en amont, mieux le chantier se passera. Le BIM, qui a fait son entrée dans la construction bois depuis longtemps, devient un outil essentiel pour les constructeurs. La paille n'est pas en reste et une bibliothèque de parois en paille est mise à disposition dans le cadre du projet UP STRAW.

### Préfabrication

La préfabrication va de la construction de modules élémentaires jusqu'à la fabrication de bâtiments pré-équipés et quasi-finis : c'est ici que nous entrons dans l'ère de la 4D !

#### 1D – Les modules en paille

Les modules sont composés de caissons remplis de paille, généralement sans finition. Ces caissons sont assemblés sur site pour constituer des murs, planchers ou toitures sur lesquels les finitions sont appliquées.

Exemple : Eco-cocon

Avantages :

- Les modules de petites tailles sont manipulables à la main ou avec des outils de levage simples
- La paille est compressée dans le cadre en bois, les dimensions et formes des modules sont assez libres
- Technique envisageable en auto-construction

Inconvénients :

- Temps de montage un peu plus long que pour des murs entiers
- Finitions à réaliser sur chantier

**2D – Les éléments de parois**

Des éléments de grandes dimensions pour les murs, planchers et toitures sont préfabriqués et sont livrés semi-finis ou quasi-finis.

Exemple :

L'entreprise Activ-home propose un processus de montage d'éléments aux professionnels qui désirent proposer des constructions en paille mais ils peuvent aussi fournir directement des parois. Le caisson est contreventé et livré sans finition.

En Belgique, Paille-Tech est le pionnier de la construction paille et propose depuis plus de 10 ans des éléments quasi-finis avec un enduit de corps à l'argile et les réservations pour les équipements techniques. Après le montage des parois sur site, seules les jonctions de panneaux et les enduits de finitions restent à faire.

L'entreprise britannique Modcell propose des panneaux semi-finis incluant les panneaux et membranes d'étanchéité mais les panneaux peuvent être livrés avec parement de finition intérieur et bardages à la demande.

Avantages :

- Possibilité d'intégrer les finitions
- Rapidité de montage en chantier
- Possibilité de réaliser une chaîne de montage avec des outils simples

Inconvénients :

- Nécessite des engins de levage lourds
- Dimensions des éléments limités par les moyens de transport, de levage et l'accessibilité au site

Les Français d'Isopaille propose des murs livrés avec les finitions, les bardages et les menuiseries

**3D – Les éléments de bâtiments**

Des éléments de bâtiments sont préfabriqués en 3 dimensions en atelier, ces éléments peuvent être équipés en usine des techniques spéciales et des éléments de finition. Ils sont ensuite transportés sur site et posés sur les fondations préexistantes.

Cette technique est utilisée depuis longtemps en construction métallique (les célèbres algeco de chantier ou les classes « temporaires » de certaines écoles) et en construction bois. La dimension limite des modules correspond au chargement maximal d'un camion hors convoi exceptionnel.

Dans le secteur de la construction en paille, EcoLodge propose des modules sur catalogue de 30 à 82 m<sup>2</sup>. Le bâtiment du Cluster Eco-construction construit dans le cadre du projet UP STRAW est entièrement monté en usine chez MOBIC qui a développé un système spécifique de préfabrication: un assemblage de demi-grumes assurent directement les fonctions structurelles et la finition intérieure et extérieure du bâtiment.

### Avantages :

- Finitions réalisées presque complètement en atelier
- Rapidité de chantier

### Inconvénients :

- Dimensions des modules limitées aux dimensions du camion
- Multiplication des transports (les modules sont vides)

## **4D – La maîtrise du temps**

Dans le BIM, la 4D ajoute une donnée "temps" aux trois dimensions géométriques. Elle permet de lier les éléments géométriques avec une information "temps" qui va permettre de suivre la progression de la construction.

La préfabrication permet une meilleure maîtrise du planning en assurant un montage en atelier, à l'abri des intempéries. L'optimisation et la standardisation du processus permet aussi des gains de temps et de qualité. Enfin, la pose sur chantier étant rapide, les risques de retard liés aux intempéries sont limités.

## **Transport**

La masse des panneaux préfabriqués en paille est 50 à 150 kg/m<sup>2</sup> en fonction du type de finition, des systèmes de levage sont donc nécessaires pour la manutention de ces panneaux.

Le transport en atelier peut être assuré par des chariots élévateurs ou des ponts roulants. Des points de levage peuvent être prévus sur les panneaux pour le grutage, il est alors nécessaire de s'assurer que ces ancrages sont suffisamment nombreux et bien répartis pour assurer une bonne répartition des charges et éviter la déformation des panneaux.

## **Installation**

Etant donné la taille et les dimensions des panneaux, des camions et des grues sont utilisées pour le montage sur site. L'accessibilité au chantier de

ces engins doit donc être vérifiée dès le début du projet. Il faut également vérifier que chaque façade est accessible pour que les engins puissent amener les panneaux au bon endroit.

La réception des fondations doit être réalisée par un géomètre afin de prendre en compte les dimensions exactes de la dalle et de pouvoir adapter la dimension des panneaux en conséquence. Les exigences de précisions dimensionnelles devraient être contractualisées dans les cahiers des charges afin d'éviter tout désaccord sur ces sujets durant le chantier.

Les détails d'exécution de l'étanchéité à l'air et à l'eau doivent être validés en étude pour réduire le risque de malfaçon et assurer la pérennité du système. Pour rappel, les mousses polyuréthane basiques ne sont pas étanches : elles se contractent en séchant et n'assure plus l'étanchéité après quelques jours.

Les panneaux paille doivent être protégés de la pluie durant le chantier. Ils peuvent être protégés par un film ou une membrane mais cette protection ne peut être que temporaire avant la pose des finitions et des bardages.

## **Finitions**

De nombreux choix de finitions des panneaux sont envisageables en fonction des choix esthétiques, des conditions climatiques, des exigences urbanistiques, etc.

Quelques éléments doivent être pris en compte dans la conception des parois et les choix de finitions :

- Les transferts de vapeur doivent être pris en compte pour éviter la condensation dans les parois
- Les détails de finition et de liaison doivent être étudiés pour assurer et pérenniser l'étanchéité à l'air et à l'eau de l'enveloppe
- Pour les finitions enduites, les dispositions nécessaires seront prises pour éviter la fissuration, notamment au niveau des liaisons entre panneaux

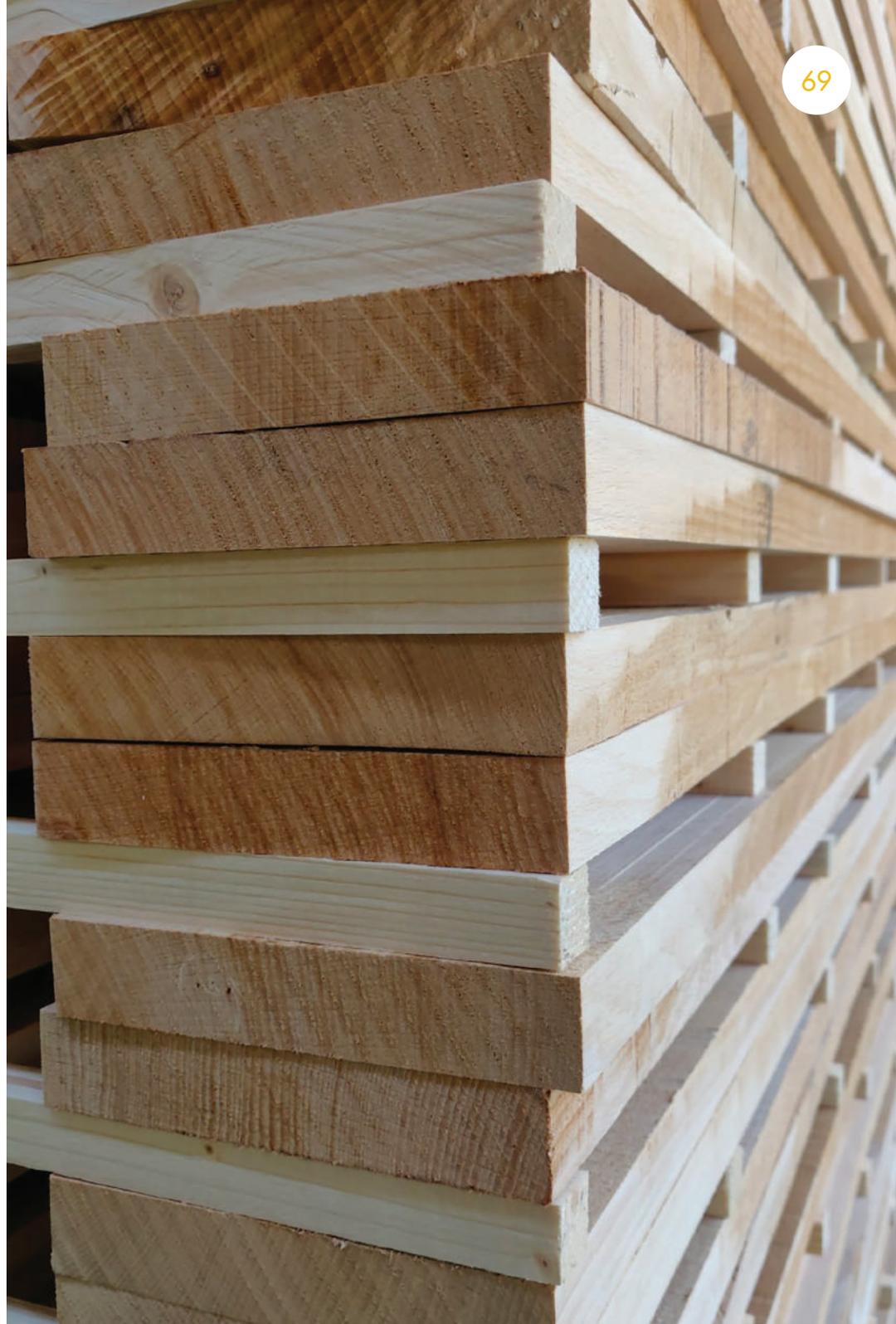
Pour les finitions intérieures, toutes solutions sont envisageables mais les enduits épais à l'argile sont largement plébiscités dans le secteur de la paille car les avantages sont nombreux : l'argile est un matériau peu cher et parfois disponible directement sur site, son impact environnemental est très faible et sa forte inertie contribue au confort estival.

La paille est un excellent support, tous les panneaux livrés sans finition peuvent donc être enduits mais l'enduisage vertical de murs est un travail fastidieux. Il est donc préférable d'enduire les panneaux à l'horizontale pour les mettre ensuite en œuvre ou d'utiliser des panneaux déjà enduits comme le propose Paille-Tech.

### Conclusion

La construction en paille offre une solution constructive performante et écologique : en effet, peu de systèmes offrent la possibilité de construire des bâtiments de type passif avec des impacts environnementaux extrêmement faibles. En utilisant des matériaux essentiellement biosourcés, le bâtiment n'est plus un émetteur mais un stockage de CO<sub>2</sub>.

Ces techniques sont largement diffusées parmi les auto-constructeurs mais la préfabrication permet aux professionnels de produire plus de parois, en moins de temps tout en assurant une production et des finitions de qualité.





## Insufflation en paille : une grande liberté pour la rénovation

---

Les techniques de construction utilisant des bottes de paille donnent inévitablement une épaisseur de mur minimale due aux dimensions de la botte. Dans le projet de rénovation du centre sportif de Tilburg composé de 100 m<sup>2</sup> de murs, ceci peut entraîner des coûts et prestations plus élevés que prévu. Un fermier autrichien (Sonnenklee) s'efforçait de modifier une presse à balles existante pour produire des bottes de paille à la taille requise. Ceci pouvait être la solution qui permettrait de construire un mur d'épaisseur correcte. Toutefois, lorsque nous avons appris la taille des bottes, nous avons également appris qu'il produisait de la paille à insuffler. Avec la paille insufflée, les dimensions des murs sont plus libres et plus adaptables qu'avec les bottes.

Nous sommes allés voir Sonnenklee pour en savoir plus sur la machine à balles modifiées et sur la paille à souffler. Cette visite fut combinée avec une formation d'une journée sur la paille soufflée chez ISO-Stroh. Ils ont commencé à utiliser la paille insufflée il y a plusieurs années en développant une machine produisant un excellent type de paille insufflée.

### L'apprentissage par la pratique

La paille est soufflée dans des cavités rigides, de forme stable, et pouvant être chargées. Pour l'application verticale et pour les toitures plus raides que 45°, la hauteur maximale recommandée est de 3 mètres. La largeur maximale d'une cavité est de 75 cm.



Sur la base du potentiel de la paille insufflée pour la rénovation du centre sportif de Tilburg, un échantillon d'ossature fut réalisé, de hauteur et de taille correspondant aux idées de départ pour ce projet. Cette ossature fut équipée de deux petites fenêtres et de deux entraves internes pour permettre la vérification de l'impact de ces éléments.

Le poids et le volume de la boîte furent mesurés pour calculer la densité de soufflage (62,8 kg, 0,393 m<sup>3</sup>). Nous avons commandé une palette de paille insufflée Sonnenklee et plusieurs tests furent réalisés avec l'aide d'Ekoplus et en utilisant une machine EM<sup>3</sup>25-X-floc.

### Densité

Après quelques ajustements et tests, nous avons pu effectuer les réglages corrects sur la machine et remplir la boîte test avec de la paille. Il s'agissait en premier lieu de déterminer la densité de la paille insufflée. Un tuyau fut placé verticalement dans la boîte test. Après avoir ouvert la boîte, nous avons pu voir clairement le résultat : avec une densité égale et aucun

endroit présentant des valeurs inférieures, nous avons un bon résultat.

Nous avons essayé de tester la densité au moyen d'un appareil de mesure de la cellulose, mais cet appareil ne fonctionne pas pour la paille. Après avoir mesuré le poids de la boîte test remplie, nous avons pu calculer la densité globale (42 kg pour 0,393 m<sup>3</sup> = 107 kg/m<sup>3</sup>).

Lors d'un autre test, nous avons essayé de remplir la boîte test par une ouverture située à une courte distance du haut de la boîte. Ceci s'est soldé par un échec lors des premiers tests.

### Demande d'utilisation de paille locale

Dans le cadre des conditions du projet demandant l'utilisation de paille locale, nous avons également recherché d'autres types de paille en petites sections. Un premier test sur de la paille hachée à 1 à 3 cm provenant des Pays-Bas s'est soldé par un échec. Il y avait trop de particules de la même taille et celles de 3 cm créaient des « ponts » durant le remplissage.

Un producteur local de produits en paille a examiné les résultats de nos tests et nos échantillons de paille. Il n'a pas réussi à produire ce qui semblait être la meilleure solution, mais il nous a recommandé une entreprise partenaire qui pourrait donner de meilleurs résultats. Nous avons commandé cette paille et effectué plusieurs tests, avec des résultats prometteurs. Il n'y a eu aucun tassement dans la paille soufflée d'une densité supérieure à 105 kg/m<sup>3</sup> durant le transport et nous avons même pu atteindre des densités de plus de 125 kg/m<sup>3</sup> sans équipement supplémentaire.

À ce stade, ISO-Stroh avait effectué ses propres tests coopératifs avec X-floc, un producteur allemand d'équipement de soufflage, et ils firent un test de vitesse sur leur paille, atteignant plus de 23 m<sup>3</sup> par heure. En estimant la vitesse maximum pour la paille locale à environ 10 m<sup>3</sup> par heure, nous avons pu prévoir le temps nécessaire pour réaliser le projet Tilburg. En ajoutant le temps de manutention à 50 %, nous pouvions poser la paille, avec 2 machines, à la vitesse de 10 m<sup>3</sup> par heure.

### **Conception détaillée de la méthode de paille soufflée**

L'utilisation de la paille pour la rénovation de l'extérieur d'un bâtiment est le point de départ idéal pour le calcul des paramètres physiques de la construction. L'idée de base était d'utiliser le mur extérieur existant, fixer des liteaux verticaux sur le mur et fermer l'ossature avec un panneau isolant à cellules ouvertes, puis insuffler la paille.

Ce système a également été testé sur place : comme le mur existant n'était pas totalement droit, nous avons testé deux options. Pour le premier test, les petits interstices entre la brique existante et la nouvelle structure en bois ont été laissés ouverts, et dans le deuxième cas ils ont été refermés avec un matériau isolant. Durant le remplissage avec la paille, on a constaté que les interstices entre la surface en brique et le panneau en bois n'avaient pas d'impact négatif sur le processus d'insufflation de la paille. En fait, un espace avec quelques fuites d'air donne de meilleurs résultats en termes de densité.

### **Conception anti-incendie**

En fonction du type de bâtiment, de la proximité d'autres immeubles, de la longueur des voies d'évacuation et de la charge incendie escomptée, nous avons décidé que les murs rénovés avec de la paille devaient avoir une résistance au feu de classe D.

La paille étant un matériau de classe E, il était impératif d'ajouter sur la façade un panneau ou un matériau de performance supérieure. L'intention étant d'utiliser autant que possible des matériaux organiques et naturels, plusieurs options ont été identifiées et trois d'entre elles ont été utilisées sur le test sur site :

- un panneau Greentech en chanvre-soya : Canapalithos
- un panneau Gutex en fibre de bois : Pyrosesist
- un panneau Agepan en fibre de densité moyenne : dwd-black

Sur la base du prix, du pouvoir isolant, du processus d'installation et d'autres critères, nous avons sélectionné le Pyrosesist Gutex avec une résistance au feu de classe C. Une version de paille insufflée plus ignifuge a été commercialisée plus tard (classée B1-s1-d0 selon EN 13501-1), mais avec le Pyrosesist Gutex de classe C il n'était plus nécessaire d'utiliser ce type de paille ignifuge.

### **Résistance thermique**

L'utilisation de la paille offre deux moyens efficaces de créer les conditions climatiques requises à l'intérieur. Premièrement, la paille est un isolant contre les pertes de chaleur ( $\lambda = 0,045$ ). Deuxièmement, la paille a une densité d'environ 110 kg/m<sup>3</sup>. Ce poids permet à la paille d'emmagasiner beaucoup de chaleur pendant les journées d'été et de la libérer durant la nuit.

Pour le projet Tilburg, nous avons comparé la performance thermique de la paille néerlandaise à la paille soufflée d'ISO-Stroh et Sonnenklee. Comme l'on s'y attendait, tous les types de paille insufflée affichaient une valeur standard de l'ordre de 0,045-0,047.

Cette étude réalisée par Kiwa a fait apparaître une relation possible entre la taille des particules et la valeur lambda : les brins de paille plus petits donnaient des performances légèrement supérieures, ce qui pourrait être lié à la partie infrarouge du transfert de chaleur.

Par contre, les particules plus petites étaient plus difficiles à traiter pour les machines que nous utilisons. Si l'on met trop de matériau à la fois dans la machine, celle-ci se bloque et il faut alors retirer toute la paille de la machine et recommencer. Comme le montrent nos tests, la paille ISO-Stroh offre la meilleure combinaison de taille de particules et de performance thermique sans bloquer l'équipement.





## INTERREG NWE UPSTRAW

Cinq pays et sept partenaires sont impliqués dans le projet Interreg UP STRAW. Tous sont convaincus que le secteur de la construction doit provoquer un changement de paradigme en adoptant des modes de construction durables.

UP STRAW est un programme financé par Interreg NWE (2017-2021) dans lequel des partenaires français, belges, néerlandais, britanniques et allemands coopèrent. Il est financé à 60 % par Interreg NWE, avec un budget total de 6,4 millions d'euros pour les projets (Financement Feder : 3,8 millions d'euros). La Wallonie cofinance quant à elle 30% pour les partenaires wallons

L'objectif du projet est de positionner la paille comme un matériau de construction de qualité supérieure, afin de réduire les émissions de gaz à

effet de serre et l'impact environnemental dans le secteur de la construction. Le projet a pour objectif de stimuler et faciliter l'utilisation de la paille dans les bâtiments urbains et publics en développant des activités de recherches, de développer la formation professionnelle et initiale, et surtout de développer ce marché à travers une communication élargie et ciblée.

En plus de ces activités, cinq sites pilotes font la démonstration de différentes techniques de construction en paille avec des bâtiments construits ou rénovés en paille.

Le programme Interreg NWE encourage la coopération transnationale pour faire de l'Europe du Nord-Ouest un acteur économique clé et un lieu de travail et de vie attrayant, avec des niveaux élevés d'innovation, de durabilité et de cohésion.



strobouw



## CHEF DE FILE

### FRANCE

CNCP-Feuillette

Stéphanie Ventre

@ stephanie.ventre@cncp-feuillette.fr  
[www.cncp-feuillette.fr](http://www.cncp-feuillette.fr)

## PARTENAIRES

### BELGIQUE

Cluster Eco-construction

Hugues Delcourt

@ info@ecoconstruction.be  
[www.ecoconstruction.be](http://www.ecoconstruction.be)

### ALLEMAGNE

Benediktinerabtei Plankstetten

Benedikt Kaesberg

@ info@bau-mit-stroh.de  
[www.bau-mit-stroh.de](http://www.bau-mit-stroh.de)

### PAYS-BAS

Municipality of Tilburg

Maikell van Rooijen

@ maikell.van.rooijen@tilburg.nl  
[www.tilburg.nl](http://www.tilburg.nl)

### Strobouw Nederland

Wouter Klijn

@ wouter@strobouw.nl  
[www.strobouw.nl](http://www.strobouw.nl)

### ROYAUME-UNI

The School of Natural Building

Eileen Sutherland

@ eileen@schoolofnaturalbuilding.co.uk  
[www.schoolofnaturalbuilding.co.uk](http://www.schoolofnaturalbuilding.co.uk)

### Hastings Borough Council

Murray Davidson

@ mdavidson@hastings.gov.uk  
[www.hastings.gov.uk](http://www.hastings.gov.uk)



## COPYRIGHTS

COVER	Vivarchi	P23	CBS-CBT	P56	Indiana Hamilton-Brown
P3	Shutterstock Licence No. 789734722	P24	C. Desmichelle	P58	Cluster Eco Construction
P4	Indiana Hamilton-Brown	P25-29	Dauphins Architecture	P59	Cluster Eco Construction
P5	Cluster Eco Construction	P30	Lorenz Märtl	P60	C. Desmichelle & The National Institute of Standards and Technology
P7	SonnenKlee GmbH	P32-37	Cluster Eco Construction	P61	Dauphins Architecture
P8	Cluster Eco Construction	P38-41	Wouter Klijn	P63	Cluster Eco Construction
P12	Indiana Hamilton-Brown	P42	Indiana Hamilton-Brown	P65	Lefrancq Mons
P13	Architecte Desmedt Purnelle	P43	Green & Castle Ltd	P66	Cluster Eco Construction
P14	Atelier d'Architecture AIUD	P45	Constrawtium	P69	Cluster Eco Construction
P15	Christophe Lootvoet	P46	Vivarchi	P70-73	Strobouwer
P16	Alain Janssens – Atelier d'architecture Alain Richard	P47	CNCP	P75	Christophe Lootvoet
P17	Arthur Janin	P49	CNCP	P76-77	Cluster Eco Construction
P18-20	Lefrancq Mons	P50	Lorenz Märtl	COVER	Vivarchi
P21	Cluster Eco Construction	P51	Wiebke Kaesberg		
P22	C. Desmichelle	P53	Lorenz Märtl		
		P54	Cluster Eco Construction		



# COLOPHON

Rédacteurs: Carole de Fays  
Hugues Delcourt  
Fabienne Pasquier  
Luc Floissac  
Nicolas Rabuel  
Joost van Leeuwen  
Wiebke Kaesberg  
Allan Sutherland  
Wouter Klijn  
Brother Andreas Schmidt, OSB  
Stéphanie Ventre

Dépot légal :  
D/2021/13.229/3  
Décembre 2021

Relecteurs : Denis Vasilov  
Hervé-Jacques Poskin

Direction artistique  
et production : David Delangh

# NOTES

A series of horizontal dotted lines for writing notes, organized into two columns.

# NOTES

A series of horizontal dotted lines for writing notes, organized into two columns.

