

La botte de paille matériau de construction

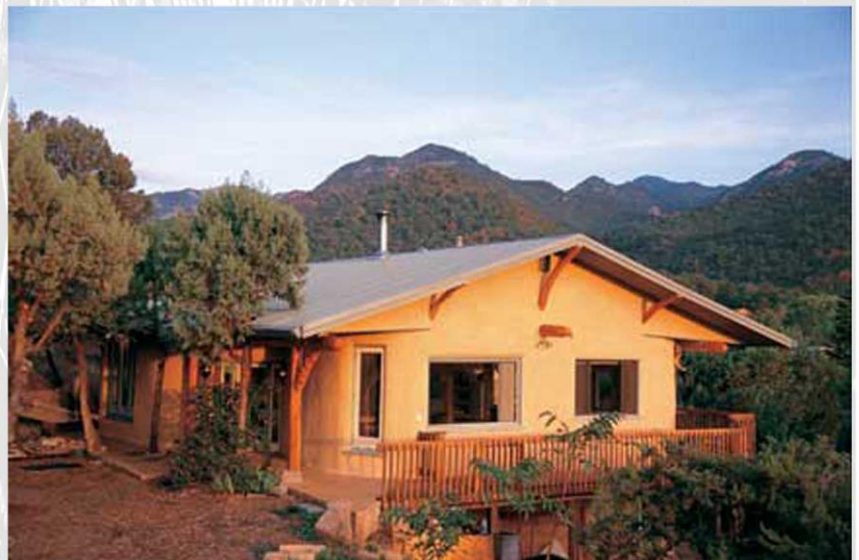
Avertissement :

*C'est ouvrage est à remettre dans son
contexte, soit à l'état des connaissances
d'Arcanne en 2006.*

*Sa réalisation ayant demandé un
investissement important de la part de notre
association, les acteurs téléchargeant ce
dossier peuvent s'ils le souhaitent faire
suivre à Arcanne un chèque de 10 euros
minimum, contre envoi d'une facture et mise
au courant en cas d'actualisation.*

[Arcanne, 31 rue de Vaulgrenant 39330 Pagnoz](#)

Jeremy COUDEL
Samuel COURGEY



**Construction &
Dévelop.t Durable**

Dossier réalisé par **Jeremy COUDEL**, entre autres pour l'ensemble des dessins, et **Samuel COURGEY**.
Association **ARCANNE, Bâtiment et environnement**.
31 rue de Vaulgrenant 39330 PAGNOZ
arcanne.ass@wanadoo.fr

Les personnes qui ont pris du temps pour sortir la botte de paille du milieu confiné où elle se trouvait sont trop peu nombreuses pour que l'on ne prenne pas ici quatre lignes pour les remercier...

En nous excusant d'emblée pour les oubliés, notons pour la France

Alain Richard, Pascal Thépaut, Jean-Pierre Oliva, Jean-Luc Thomas, Jean-Marie Haquette, Tom Rijken, André de Bouter, Richard Lacortiglia,

pour le projet de Montholier :

Claude Renaudin, Jean-Claude Viallard, Alain Combet, la FFB et l'ADEME,

...et, tout de même deux femmes dans ce monde très masculin :

Marie Hélène Allemann, fondatrice & Présidente d'Oïkos, la maison son environnement et Judith Légo, ingénieure à la direction des affaires techniques, FFB

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	4
PARTIE I	7
I - HISTORIQUE	8
A- De la paille à ...	8
B- ...la botte de paille	8
C- La construction paille en France	9
II - DIFFERENTES TECHNIQUES	11
A- Technique 'Nebraska'	11
B- Technique des Ballots 'maçonnés'	11
C- Technique 'ossature bois'	12
D- Notre avis sur ces techniques	12
III - PETIT TOUR D'HORIZON	13
IV - APPROCHE SCIENTIFIQUE	14
A- Montholier : programme de recherche FFB/ADEME	16
1- Essais en laboratoire, matériau 'paille'	16
2- Essais in situ, maison 'bois / paille'	21
B- Tableau récapitulatif des tests européens	22
V - REGLEMENTATION, ASSURANCES, GARANTIES	23
A- Réglementation	23
B- Permis de construire	23
C- Situation vis à vis de l'assurance des 'maisons en paille'	23
D- Les garanties professionnelles	24
PARTIE II	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
I - PRINCIPES POUR LES BATIMENTS 'BOIS-PAILLE' DURABLES	27
A- Construction bois	27
B- Mise en œuvre de la paille en tant que végétal	27
C- Spécificités de la botte de paille	28
II - ÉTAPES DE CHANTIER SPECIFIQUES A LA TECHNIQUE	29
A- Le choix de la paille	29
B- Préparation des ballots	30
C- Adaptation des dimensions des bottes	31
D- Pose des ballots	32
1- Pose 'horizontale'	32
2- Pose 'verticale'	32
E- Préparation des supports sous enduits	33
F- Electricité, plomberie, ...	34
G- Réalisation des parements	34
1- Parements extérieurs	35
2- Parement intérieurs	35
H- Réalisation des enduits	36
1- L'accrochage sur la paille	36
2- La deuxième couche ou 'corps d'enduit'	36
3- La troisième couche ou 'couche de finition'	37
I- Choix des liants :	37
III - CAS PRATIQUES : GESTION DE DETAILS TECHNIQUES	39
A- Exemples de gestion de détails techniques Ossature centrée	45
1- Exemple de gestion d'un angle sortant	46
2- Exemple de gestion d'un angle non droit	48
3- Détail fondation – pied de mur	50
4- Implantation d'une fenêtre – Coupe verticale	52

5- Implantation d'une fenêtre – Coupe horizontale	54
6- Détail système portique	56
<i>B- Exemples de gestion de détails techniques Ossature excentrée</i>	59
1- Exemple de gestion d'un angle sortant	60
2- Exemple de gestion d'un angle rentrant	62
3- Exemple de gestion d'un angle non droit	64
4- Détail fondation – pied de mur	66
5- Implantation d'une fenêtre – Coupe verticale	68
6- Implantation d'une fenêtre – Coupe horizontale	70
7- Détail plancher intermédiaire	72
8- Détail haut de murs - toiture arbalétriers	74
9- Détail haut de murs - toiture en fermettes non aménageables	76
IV - REPORTAGE PHOTO – CHANTIER RENAUDIN	79
<i>A- Présentation</i>	80
PARTIE III	93
I - LIVRES FRANCE	94
II - LIVRES ETATS-UNIS	96
III - AUTRES REFERENCES	99
<i>A- Ouvrages</i>	99
<i>B- Travaux d'études</i>	99
<i>C- Autres Recherches</i>	101
IV - PRINCIPAUX SITES INTERNET	103

La botte de paille matériau de construction

Les acteurs qui connaissent ou côtoient la paille comme matériau de construction depuis plusieurs années sont surpris de voir comme les réactions vis-à-vis de ce matériau évoluent.

Dans les pays occidentaux, la réutilisation de la botte de paille dans le bâtiment date des années 1970 : bâtir en paille dans un but ouvertement alternatif.

Les 'maisons en paille' sont considérées comme des manifestes, on est fier de s'afficher pionnier. Ces constructions sont souvent faites de bric et de broc, certaines ressemblant à de grosses cabanes.

Dans les années 1990, une nouvelle population, moins marginale, commence à entrevoir la possibilité de construire en paille. C'est pour ces acteurs, sensibles à l'environnement, une réponse pertinente à leurs préoccupations vis à vis de la planète. Le fait d'utiliser une technique sortant des sentiers battus n'est plus une fin en soi, juste un clin d'œil sympathique aux pionniers des années 70.

Depuis les années 2000, les appréhensions, ou inversement, les excitations qui accompagnent souvent la présentation de la paille comme matériau de construction disparaissent. Et, si ce n'est pour quelques nouveaux alternatifs qui, souhaitant emboîter le pas des pionniers des années 70, au risque de se retrouver face aux mêmes contre-performances, la botte de paille est désormais intégrée comme matériau à part entière.

Face au défi collectif qui consiste à diminuer drastiquement nos émissions de Gaz à Effet de Serre, les aspects 'alternatifs' ou 'artisansaux' de la 'construction en botte de paille' sont secondaires face à ces nombreuses qualités :

pouvoir isolant, durabilité et bilan environnemental exceptionnel.

On parle donc désormais moins de 'maison en paille' mais de 'maison bois-paille' ou simplement de 'maison ossature bois'. La paille n'est alors considérée que pour ce qu'elle est : un remplissage isolant. (Parle t'on de 'maison en laine de verre' lorsque l'on parle de maison ossature bois ?)

Une population sans cesse grandissante désire utiliser la paille comme matériau isolant. Face à cette demande, les articles, les documentaires ou les livres se font de plus en plus nombreux. Permettent-ils aux particuliers ou aux professionnels désirant construire de savoir comment adapter leur projet à ce matériau ? Donnent-ils les bases nécessaires pour la réalisation de bâtiments pérennes ? Pas forcément !

Ce document a pour objectif de répondre de manière précise à nombre des questionnements qu'ont celles et ceux qui s'intéressent à la paille, avant qu'ils ne se retrouvent 'au pied du mur'.

PARTIE I

La botte de paille : matériau de construction

1- Historique

A- De la paille à ...

Du néolithique à l'ère industrielle, l'homme a puisé pour construire ses maisons dans quatre familles de matériaux : la pierre, le bois, la terre et les fibres végétales.

On estime ainsi que la paille est utilisée depuis la nuit des temps pour :

- couvrir les habitations (chaume...),
- réaliser les murs (torchis...),
- faire de simples 'bourrages'.



Maison avec toit en chaume

La durabilité de la paille dans cette utilisation – mise en œuvre sommaire que l'on retrouve plus dans le mobilier que dans la construction – nous est rapportée de fouilles archéologiques en Egypte.

On réalise que dans des conditions particulières, la paille, matière végétale donc putrescible, peut traverser des millénaires.

B- ...la botte de paille

Avec l'apparition de la botteuse aux États-Unis (milieu du XIX^{ème} siècle), la paille est devenue 'botte de paille' et donc, potentiellement brique isolante.

C'est donc les paysans américains des grandes plaines céréalières du Nebraska, qui ont franchi le pas : **la botte de paille est ainsi devenue, au fil des années, un matériau de construction à part entière.**

Après les États-Unis d'Amérique, ce mode constructif s'est développé au Canada jusqu'au début du XX^{ème} siècle où il a été, comme l'ensemble des techniques traditionnelles, remplacé par les techniques de construction qualifiées alors de 'modernes', aujourd'hui de 'conventionnelles' (systèmes constructifs laissant une très large part à la mise en oeuvre des matériaux issus de l'industrie).



Première photographie d'une maison paille, XIX^{ème}

C- La construction paille

Arrivant en France dans les années 1920, c'est à dire au début de l'apogée des matériaux industriels, la construction de bâtiments en 'bottes de paille' n'a pas rencontré de développement particulier. Il nous reste néanmoins de cette période des constructions apportant encore entière satisfaction. C'est le cas, par exemple, de la maison 'Feuillette' de Montargis, de l'immeuble de paille de Besançon ou encore de chambres froides construites à cette époque et encore en service.

La maison 'Feuillette', du nom de l'ingénieur qui l'a conçue, est la première du genre recensée en France et en Europe.

Elle a été construite en 1921, à Montargis.

Le but de l'ingénieur Feuillette était de proposer une maison confortable et bon marché comme solution de reconstruction après guerre.

Retrouvée 'par hasard', elle est toujours en bon état et abrite ses troisièmes propriétaires.

Maison Feuillette, Montargis



Réapparue aux USA dans les années 70, la construction en bottes de paille a très vite séduit les milieux alternatifs, d'abord en Amérique du Nord, ensuite en Europe.

Depuis quelques années, c'est une approche soit économique, soit exclusivement environnementale qui pousse sur le devant de la scène la potentielle utilisation de la paille comme matériau isolant. Car, en plus de permettre de réaliser des parois parmi les plus performantes du marché au niveau thermique, la paille, accessible à peu de frais un peu partout sur la planète, a un bilan environnemental exceptionnel.



Maison paille à la communauté de "Longo mai" à Limans, France, 1980

LA PAILLE

C'est un matériau 'puits de carbone', local, demandant peu d'énergie et générant très peu de pollution pour être produit.

La paille permet de construire des bâtiments durables et thermiquement très performants.

Concernant la gestion de leurs déchets, les bâtiments 'paille' ne poseront aucun problème en fin de vie, du moins pour leur ossature et leur isolant.



*Maison 'très basse énergie' (type passiv-haus) Autriche.
Réalisée par assemblage des panneaux fabriqués en atelier, ce type de mise en œuvre
représente incontestablement, pour nos pays, l'avenir du matériau 'paille'.*

Depuis quelques années, le développement le plus important de 'maisons paille' se fait en Asie (Inde, Chine, Asie centrale). En plus de la recherche de bâtiments faciles à chauffer, c'est la disponibilité du matériau et son coût très bas qui séduisent.



Maison individuelle en Chine

2- Différentes techniques

L'utilisation de la botte de paille pour la confection de murs se décline en trois grandes familles. Et, bien que pour chacune il existe plusieurs variantes, elles peuvent être présentées comme suit :

A- Technique 'Nebraska'

C'est historiquement la plus ancienne technique de mise en œuvre des bottes de paille.

Les paysans mormons des Etats-Unis posaient les ballots croisés (en coupe de pierre) et y enfonçaient des piquets de bois. Ceci permettait de rigidifier les murs qui devenaient ainsi porteurs.

Cette technique sommaire persiste de nos jours, principalement en Angleterre, aux USA et en Australie. Désormais, ce sont **des tiges filetées** ou des sangles, qui, fixées entre les fondations et **la lisse haute** compriment les murs et permettent ainsi une stabilité suffisante de l'édifice. (Schéma 1)



Cette solution, rapide et économique, permet très difficilement la réalisation d'étages. De plus, elle est trop éloignée de l'approche professionnelle occidentale et des besoins de connaître au minimum les performances mécaniques des parois porteuses pour envisager s'implanter en France.

Nebraska

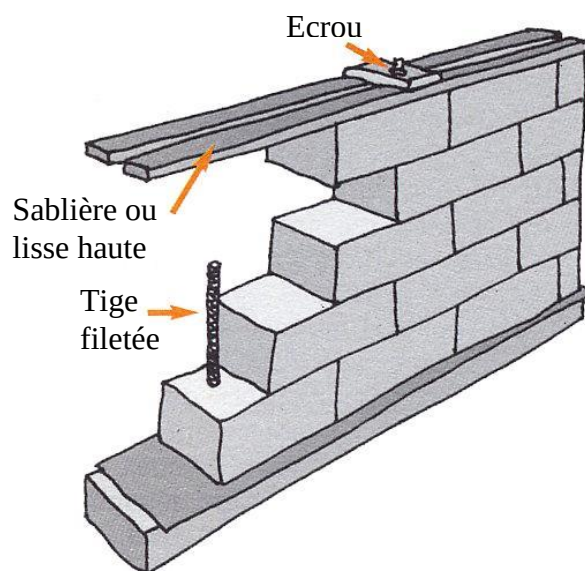


Schéma 1

D'après 'la maison écologique'

B- Ballots 'maçonnés'

Cette technique nous est venue du continent américain via le Canada. Elle a été 'professionnalisée' par Louis Gagné dans les années 80 grâce à une série d'études permettant de connaître les performances de pareilles constructions.

Les bottes, non croisées, sont assemblées entre elles par un mortier à base de ciment d'une dizaine de centimètres d'épaisseur.

Ceci abouti à une sorte de structure porteuse 'poteaux-poutres' (ou plutôt 'poteaux-traverses') ou les alvéoles sont constituées des bottes de paille. (Schéma 2)



Cette mise en œuvre 'maçonnée' est plus coûteuse que la technique Nebraska et génère des chantiers plus lourds et longs à gérer.

De plus, bien que les joints maçonnés soient 'coupés' en milieu de mur par un remplissage de paille, la performance thermique de ces parois n'est que moyenne.

Maçonné

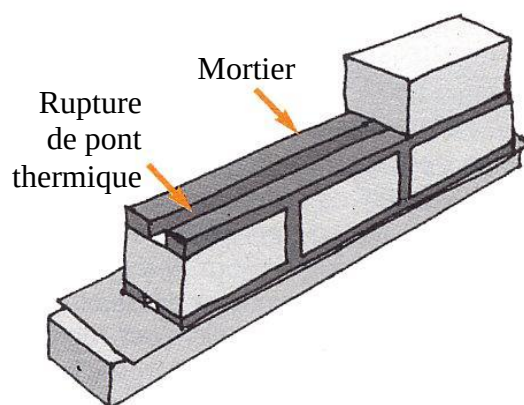


Schéma 2

D'après 'la maison écologique'

C- Technique 'ossature bois'

C'est la première technique qui a été utilisée en France (maison Feuillette). On y trouve un système de double ossature remplie de paille. Un grillage servait de maintien pour les ballots mais aussi de protections contre les rongeurs et d'armature pour les enduits.

Depuis, une profusion de systèmes 'ossature bois' a vu le jour afin d'adapter le savoir-faire des différents charpentiers au remplissage en bottes de paille.

Les principales techniques 'ossature bois' consistent à forcer les ballots entre des montants placés à l'intérieur du mur.

Au niveau horizontal, des liteaux sont cloués ou vissés (plus facile et rapide) toutes les rangées de bottes (désormais plus souvent toutes les deux ou trois rangées) afin de supprimer tout risque de tassement de la paille. (Schéma 3)

Dans les techniques 'ossature bois', la paille ne sert donc que de matériau isolant, la structure porteuse assurant à elle seule la stabilité du bâtiment.

On s'inspire de ces techniques spécifiques pour réaliser également des isolations de toitures, de parois plafond/ plancher...

Au niveau du chantier, outre le fait qu'elles peuvent permettre une préfabrication en atelier, le gros avantage de ces techniques est de séparer très clairement la phase sèche (ossature, pose paille, réalisation des parements, plaques de plâtre ou bois,...) des phases humides (réalisation des enduits). L'ensemble de l'ossature peut être monté : 'à l'abri'.

Au niveau thermique, cette technique permet de réaliser des bâtiments les plus performants du marché (voir § 'approche scientifique').

Au niveau économique, la pertinence des techniques 'ossature bois' dépendra de l'adaptation de l'ossature au remplissage en botte de paille d'une part, et à la complexité du bâtiment d'autre part. Avec en approche optimisée des mises en œuvre possibles par panneaux réalisés en atelier.

Ossature bois

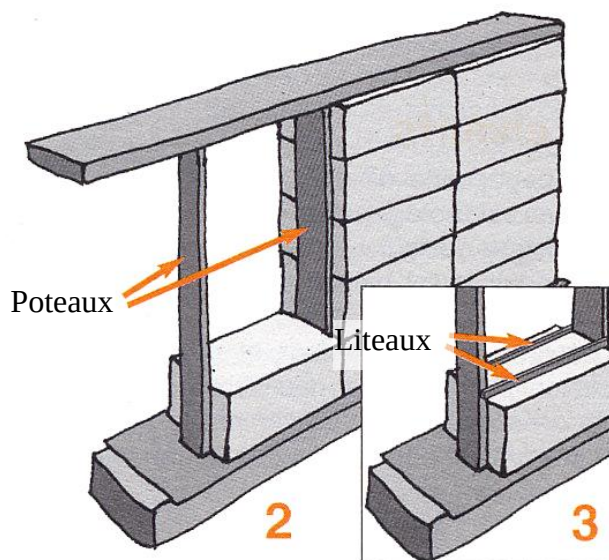


Schéma 3

D'après 'la maison écologique'

D- Notre avis sur ces techniques

En attendant que les acteurs de la filière 'paille' permettent par leurs initiatives de faire reconnaître différents types de mise en œuvre de la botte de paille, la seule technique que l'on peut actuellement réellement promouvoir est la technique 'ossature bois'.

Note : A toutes celles et ceux qui imaginent qu'une maison paille ne serait 'pas chère' parce qu'elle utilise des bottes de paille pour l'isolation thermique, il semble nécessaire de préciser que :

- sur un projet de construction, la réalisation des murs ne compte que pour environ 20% du prix d'une maison individuelle ;
- réalisés par des entreprises, les murs 'bois/paille' ont un coût similaire aux techniques de qualité type 'briques monomur' ou 'bois/laine de cellulose', ... mais, il est vrai, pour des performances thermiques et environnementales supérieures.

3- *Petit tour d'horizon*



Eglise du Nebraska, début XX^{ème}



Manoir 'Burrit', Alabama, 1938



Maison à Auroville, Inde



École en Chine



Maison 'd'Elsa', Morbihan, 1990



Maison 'Barril', Vienne 1991



Maison à Montholier, Jura 2003



Maison 'Courgey-Chipeaux', Jura 1999



Auditorium RABOBANK...



Pays Bas, 2002



Ossature d'une maison à Rohrau, Autriche



Maison à Dobersdorf, Autriche



Murs préfabriqués...



Pose des murs sur chantier...



Breitenfurt, Autriche



*Résidence Johnson ; Nevada, USA
Arkin-Tilt Architects*



*Résidence en Californie
Arkin-Tilt Architects*

4- Approche scientifique

La première vague de construction utilisant la paille en bottes s'est faite à une période où la maîtrise des techniques nécessitant beaucoup de savoir faire était réelle.

La mise en œuvre de la paille s'est affinée au fur et à mesure, s'inspirant des connaissances que chacun pouvait avoir de l'utilisation des matériaux premiers.

Depuis le début du XX^{ème} siècle, le monde de la construction a énormément changé : matériaux, techniques, relation à la connaissance, transmission du savoir, et maîtrise de l'art de construire.

Désormais, le besoin s'impose de quantifier, vérifier, garantir, certifier...

En faisant sa réapparition aux Etats-Unis dans les années 70, l'utilisation de la paille a entraîné le besoin de connaître les performances réelles du matériau et des parois l'utilisant.

Si au regard du patrimoine ancien on savait que 'cela fonctionnait', quelques contre-performances des années 70 ont imposé d'en savoir plus :

Pour ce qui concerne les techniques 'bois/paille', (ossature bois + remplissage paille) nous devons connaître :

- ☞ les performances thermiques et acoustiques de la paille comprimée
- ☞ les conditions de mise en œuvre à respecter pour des parois pérennes avec entre autre :
 - . le comportement à l'humidité et à la vapeur d'eau
 - . la tenue au feu
 - . le comportement face aux insectes et aux rongeurs.

Depuis 1993 et les programmes complets de recherches de l'état de Californie qui ont permis d'écrire les premiers codes d'utilisation de la paille dans la construction¹, de très nombreuses études scientifiques ont défini les performances et les conditions d'utilisation de la botte de paille.

Pour le lecteur désirant des informations complètes, une série de références d'études est proposée en partie III, pour les autres, une présentation des études françaises est proposée dans le présent chapitre.

¹ Aux Etats-Unis, les codes de construction, spécifiques à chaque état, sont des documents similaires aux DTU (Documents Techniques Unifiés), aux normes DTU ou aux règles professionnelles que nous avons en France.

A- Montholier : Programme de recherche FFB/ADEME ²

Depuis les années 70 et jusqu'à la fin des années 90, l'utilisation de la paille en France s'est professionnalisée jusqu'à donner lieu à un chantier expérimental accompagné d'un programme de recherche conséquent.

Ce projet, soutenu par de très nombreux acteurs³ est né d'une double initiative :

- celle d'une commune jurassienne (Montholier) qui désirait construire deux maisons individuelles 'bois/paille' ;
- celle de la FFB, qui, avec l'ADEME, souhaitait mieux cerner les potentiels d'utilisation des matériaux premiers.

Le programme de Montholier, a été mené sur deux techniques différentes de remplissage d'ossature bois :

'bottes de paille' et 'béton chaud/chanvre'

Ce programme s'est déroulé en trois étapes :

- 1- Vérification en laboratoire des principales performances attendues
- 2- Conception et construction de deux maisons d'habitation, dans un contexte expérimental
- 3- Suivi des performances des deux bâtiments

Essais en laboratoire, matériau 'paille'

➤ Performances thermiques ⁴

☑ Avec une masse volumique de 80 kg/m³, la paille testée en France (CSTB-2002) a une conductivité thermique utile de :

$$\lambda_{\text{utile}} = 0,07 \text{ W/m.K}$$

La plupart des données étrangères oscillant entre 0,040 et 0,065 W/m.K ; cette performance française est donc relativement mauvaise. Ceci peut sans doute s'expliquer par le sens des fibres choisies et par le protocole d'essai utilisé (Méthode fluxmétrique selon la norme NF X 10-025).

² Le programme de recherche qui a accompagné le projet de Montholier a été piloté pour le compte de l'ADEME et de la FFB par Alain Grelat du CEBTP.

FFB : Fédération Française du Bâtiment : www.ffbatiment.fr

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie : www.ademe.fr

CEBTP : Centre d'Expertise du Bâtiment et des Travaux Publics : www.cebtp.fr

³ Le projet expérimental de Montholier a été soutenu principalement par la FFB et l'ADEME mais également par le Conseil régional de Franche Comté, le Conseil général du Jura, PUCA, l'association des producteurs de chanvre, Construire en Chanvre, le CNDB, l'ADIB et de nombreux acteurs privés (HOLCIM, Baltazard et Cotte, KOMARIC, le Crédit Agricole, ECOLITH, Guardiam, ARNOULD, CUBSAT, TRESCO et Chauffage Français).

⁴ Pour les personnes non habituées à l'approche thermique, un ouvrage explique de manière très pédagogique ce sujet : 'l'isolation écologique' de Jean-Pierre OLIVA aux éditions 'Terre vivante'.

☑ Pour les murs, compte tenu de la présence de l'ossature ($\lambda \approx 0,14$), des joints et des enduits ($\lambda \approx 0,12$), la conductivité thermique équivalente obtenue par un essai de transmission thermique est de :

$$\lambda_{\text{équivalent}} = 0,095 \text{ W/m.K}$$

soit un coefficient de transmission thermique moyen U pour des murs de 40 cm de paille et de deux fois 2 cm d'enduit:

$$U = 0,237 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Ce résultat, qui correspond à une résistance thermique R de 4,22 m².K/W est bon, comparé à la plupart des systèmes proposés sur le marché.

Il semble néanmoins largement perfectible :

- le module testé avait une présence de bois et de 'béton' de remplissage plus important que ce qui est couramment proposé en France ;
- le sens de pose de la paille n'était pas à l'avantage de la performance thermique.

➤ Paille, humidité et performances thermiques

☑ La perméabilité du matériau à la vapeur est très grande : $\mu = 1$

Cette valeur nous éclaire en partie sur les raisons pour lesquelles la paille semble si peu sensible à la présence d'humidité.

☑ Des essais thermiques ont été réalisés avec de la paille sèche (0% d'Humidité Relative) et de la paille humide (50 puis 90% HR). Les résultats sont :

$$0,064 \text{ (0\% d'HR)} \leq \lambda_{\text{utile}} \leq 0,069 \text{ à } 0,72 \text{ (90\% HR)}$$

Les performances thermiques de la paille ne s'altèrent que très peu en présence d'humidité. Cette information est de première importance puisque l'on travaille généralement, avec des remplissages isolants en paille, en parois perspirantes⁵.

➤ Paille et enduits

☑ La résistance à l'arrachement des enduits appliqués sur la paroi paille est en moyenne de :

- **0,08 Mpa** pour un enduit 'chaux et sable' traditionnel
- **0,01 Mpa** pour un enduit 'chaux et chanvre'

Cette dernière valeur, inférieure à la valeur imposée par le DTU pour les enduits sur maçonneries traditionnelles (0,3 Mpa) représente tout de même une résistance à la traction de 1 tonne par m² soit, près de 25 fois la masse des enduits. De plus, notons qu'il n'est pas habituel, au moins jusqu'à présent, de réaliser des enduits 'chaux chanvre' sur de la paille.

⁵ Voir 'L'isolation écologique' (J-P OLIVA). En résumé : Perspirant = sans composant stoppant les échanges dus à la migration de la vapeur d'eau entre 'air intérieur/ intérieur des murs' et 'intérieur des murs/ air extérieur'.

La valeur de 0,08 Mpa qui correspond à la résistance à l'arrachement des enduits traditionnels (enduits 'chaux/sable') représente plus de 200 fois la masse des seuls enduits.

Cette très bonne performance justifie que d'autres acteurs de la construction paille se permettent de poser la paille dans l'autre sens (fibres verticales) et d'enduirent ensuite directement sur la face 'lisse' des fibres.

Cette façon de faire, qui bouscule les habitudes hexagonales est sans doute la piste à retenir pour l'avenir. (Voir essais allemands p22 et reportage photos p 13).

➤ Essais de résistance au feu

Bien que l'ensemble des tests réalisés dans les autres pays présente des résistances au feu bien supérieures aux exigences françaises pour l'habitat individuel, il a été estimé nécessaire de vérifier la tenue au feu des parois isolées de paille.

Deux maquettes ont été réalisées au Laboratoire National d'Essais (Trappes) puis soumises à une simulation d'incendie, par feu d'hydrocarbures (attaque très sévère avec élévation de la température à environ 900°C).

Panneau de toiture

Le coffre est composé d'une ossature lamellé-collé couverte en sous face de panneaux type 'trois plis' sapin de 2.7 cm d'épaisseur. Les coffres sont remplis de bottes de paille de 36 cm d'épaisseur, la face supérieure est couverte d'un film pare pluie.

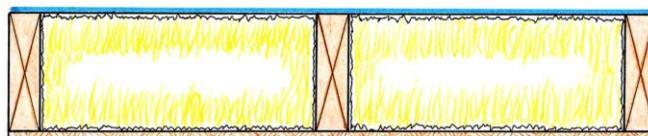


Schéma de la maquette de toiture

Essai :

Le feu a duré une vingtaine de minutes. Les températures en surfaces étaient de l'ordre de 800 à 900°C. Durant le test le panneau est resté stable et aucune combustion n'a pu débiter dans la paille.

Les températures mesurées à l'intérieur du coffre ont été :

- de 230 °C maximum à l'interface entre le parement bois et la paille ;
- de 75 °C maximum à l'intérieur du remplissage en paille.

L'essai se faisant sous un abri sommaire par jour de grand vent, il a été décidé de laisser le panneau bois incandescent transmettre le feu à la paille. Nous avons alors pu vérifier deux faits :

- La paille (paille comprimée enfermée dans un coffre partiellement consumé) en combustion (pas de flammes, peu de fumée) ne transmet que très lentement le feu à la paille non encore en combustion.
- Le feu est resté circonscrit à un seul coffre. En d'autres termes, la paille en feu n'est pas arrivée à transmettre le feu aux pièces de bois contigus (poutres ou panneaux).



Réalisation de la maquette



Début de l'incendie

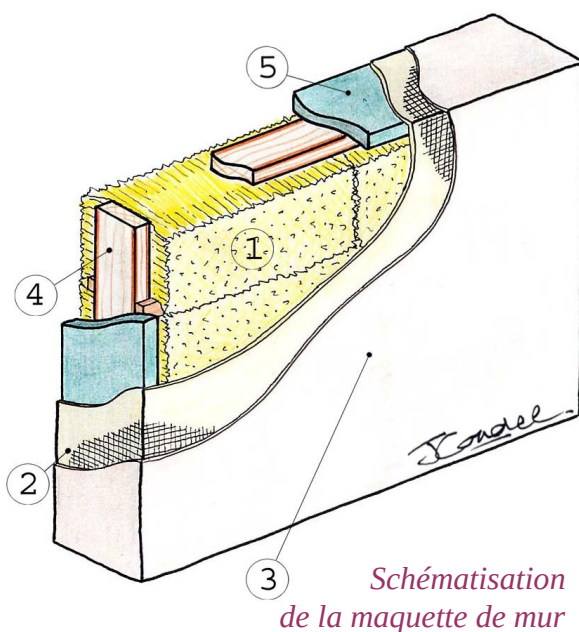


Etat du parement bois après 20 min d'essai

Maquette de mur

Le mur est constitué de bottes de paille de 40 cm d'épaisseur, recouvertes de part et d'autre d'un enduit à la chaux de 2 cm. L'ossature est constituée de poteaux bois de 4 x 20 centrés. Pour l'essai la maquette est positionnée verticalement.

1. Paille prétempée de chaux adjuvée
2. Corps d'enduits à la chaux comportant un tramage fibre de verre
3. Couche de finition à la chaux
4. Ossature en plateaux de bois brut de 20 cm par 4 cm
5. Panneau de fibragglo de marque ECOLITH® de 35 mm



Schématisation de la maquette de mur



Maquette de mur équipée de sondes thermiques



Essai en cours après 10 mn



Après extinction du feu

Essai :

Le feu d'heptane a duré 1 h 25 minutes. La couche superficielle de l'enduit a cloqué rapidement à l'endroit léché par les flammes et s'est effondrée au bout de 45 minutes. La couche suivante n'a pas été significativement endommagée le temps de l'essai.

Les températures en surface étaient de l'ordre de 800 à 900°C au niveau de la zone cloquée qui était la plus exposée.

Après 40 minutes, une combustion a été repérée dans la paille par une sonde de température interne. Cette combustion ne s'est que très lentement et partiellement propagée à l'intérieur du mur. L'ossature bois n'a pas été attaquée.

Conclusion des tests sur panneau de toiture et mur :

Dans les deux cas, la stabilité des éléments est conservée et on note une tenue au feu bien supérieure au quart d'heure nécessaire en France pour répondre aux exigences réglementaires de l'habitat individuel.

Aucun effondrement n'a été constaté pendant la durée du feu et la paille n'a jamais réussi à transmettre le feu aux éléments en bois de l'ossature.

Les résultats des études françaises confirment donc le très bon comportement des parois isolées de paille.

Autres exemples de tests de résistance au feu (Voir également page 18)

Test SHB AGRA (New Mexico Community Foundation en 1993, Albuquerque, Nouveau-Mexique)

Ce test démontre qu'un mur en ballots de paille **non enduit** dont une face est exposée aux flammes résiste sans problème à un test de résistance au feu de 30 minutes. Alors que, au bout de 30 minutes, la température s'élevait à plus de 900°C à l'interface foyer/paille, elle n'était montée que de 12°C sur la face extérieure du mur-test. Les flammes ont traversé le mur au niveau des joints entre bottes après 35 minutes.

Test Danois (Site : www.dr.dk/halmhuset)



Un mur de paille enduit de terre crue est exposé au feu. En peu de temps, l'enduit change de couleur. Le mur est examiné après 30 minutes : le point exposé à la flamme ne montre que de l'argile brûlée, et la paille sous-jacente est carbonisée par endroits mais le mur n'a pas pris feu.



Essais in situ, maison ‘bois / paille’

La multiplication des essais réalisés autour du matériau ‘paille’ nous montre que la seule réelle inconnue reste l’explication du comportement de l’humidité à l’intérieur des remplissages en paille. En effet, si l’on sait que la paille est de ‘moins’ à ‘beaucoup moins’ vulnérable que la moyenne des remplissages isolants vis à vis du feu, des tassements, du vieillissement, de l’attaque par des rongeurs et autres insectes, on ne sait pas exactement ce qui se passe avec la vapeur d’eau. En résumé : l’on sait réaliser des parois pérennes mais on n’explique pas encore précisément, vis à vis de leurs comportements à l’humidité, le pourquoi de cette bonne tenue dans le temps.

C’est donc là le principal questionnement qui a motivé l’installation d’un grand nombre de sondes à l’intérieur des murs des maisons de Montholier.

Depuis juin 2004, un suivi 24 heures sur 24 est réalisé sur ce projet. ⁶

Les sondes installées nous **renseignent donc sur les migrations de l’humidité** que l’on a dans les ‘parois paille’ mais aussi **sur la performance thermique du bâtiment**. Car, il y a encore effectivement là quelques questions qui subsistent :

- Les données pour la thermique d’hiver sont généralement bonnes mais elles varient trop d’une étude à l’autre pour que l’on estime connaître les performances réelles de la paille ;
- Si ce n’est une capacité thermique de 1400 J/m.K données pour la paille fortement comprimée (400kg/m³, données CSTB), les informations quant à la contribution exacte de la paille en botte au confort d’été nous manquent.



Pose d’une sonde pour le suivi hygrothermique du remplissage ‘paille’

B- Essais réalisés à Montholier en marge du programme ‘CEBTP’

Performances acoustiques des parois en paille - essais réalisés en mai 2004 dans le cadre d’un Travail de Fin d’Etude (Xavier CAMPEYRON, Ecole Nationale des Travaux Publics de l’Etat).

Les informations sur les performances phoniques des parois ‘végétales’ sont assez rares et ne donnent que des résultats en demi-teinte. Afin de vérifier si ce sujet représentait une faiblesse réelle pour des parois isolées avec de la paille, l’association ARCANNE a profité d’une sollicitation pour un travail de fin d’études d’un ingénieur de l’ENTPE pour quantifier les performances des murs des maisons de Montholier.

Résultats de l’essai :

Pour les bruits extérieurs, la réglementation française demande un isolement supérieur à 30 db (A). Sur Montholier les diverses performances enregistrées s’échelonnent entre 48 et 57.3 dB (A). Ces résultats sont donc très rassurants.

⁶ À l’écriture de ce document, les informations données par le CEBTP confirment de très bonnes performances thermiques pour l’hiver et remarquent que l’humidité relative à l’intérieur de la paille oscille au maximum entre 60% (coté intérieur) à 75% (coté extérieur). Ceci signifie qu’elle ne s’approche jamais du ‘point de rosée’ (100% d’Humidité Relative : la vapeur d’eau devient eau liquide). Les enseignements finaux de ce programme de recherches seront présentés dans les dossiers résumant l’opération de Montholier. Contact : Montholier.ce@wanadoo.fr

C- Tableau récapitulatif de divers tests Européens

	France	Allemagne	Autriche
Densité des ballots (kg/m ³)	$\rho \approx 80$	$90 < \rho < 130$	$80 < \rho < 90$
Humidité de la paille	15 %	< 15 %	< 15 %
Conductivité thermique (W/m.K)	$\lambda = \text{env. } 0,068$	Flux thermique dans le sens de la fibre : $\lambda = 0,04$ Fibre perpendiculaire au flux thermique $\lambda = 0,065$	$\lambda = 0,046$
Réaction au feu	La paille en combustion (pas de flammes, peu de fumée) ne transmet pas le feu aux bois contigus	B2 ⁷	B2**
Tenue au feu	Largement supérieure aux exigences françaises de l'habitat individuel	Tenue au feu de 30 (F-30) à 90 minutes (F-90)	

Sources :

▪ Pour la France :

Programme de recherche Montholier / FFB-ADEME :

- Site CEBTP : <http://www.cebtp.fr>
- Adresse électronique pour le projet expérimental : Montholier.ce@wanadoo.fr

▪ Pour l'Allemagne :

Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. : <http://www.fasba.de>
(Association professionnelle pour la construction en paille)

▪ Pour l'Autriche :

- Österreichisches Ökologie Institut für angewandte Umweltforschung :
<http://www.baubiologie.at>
(Institut Autrichien pour la recherche sur l'écologie et l'environnement)
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
(Ministère pour le transport, l'innovation et la technologie)

⁷ Il existe 5 classes de réactions au feu en Allemagne et en Autriche mais sans correspondance avec les classements français.

5- Réglementation, assurances, garanties...

A- Réglementation

Dans de nombreux pays industrialisés, à moins de construire un bâtiment sans le déclarer, il est interdit d'utiliser des techniques constructives non référencées, ou de mettre en œuvre des matériaux de construction non reconnus comme tel. C'est le cas entre autre aux Etats-Unis et en Allemagne.

En France cette contrainte n'existe pas comme telle : Le fait qu'une technique ne soit pas encore référencée ou reconnues officiellement, ce qui est pour l'instant le cas avec l'utilisation de la paille, n'interdit donc pas sa mise en œuvre.

B- Permis de construire

Sauf cas particuliers⁸, en France, les éléments imposés lors d'un permis de construire sont d'ordre esthétique (forme et taille du bâtiment, implantation, intégration au paysage, adaptation au terrain, nature et couleurs des parements, ...) et sanitaire (raccordement à l'eau potable, gestion des eaux usées, ...).

Concernant l'enveloppe, **la seule exigence technique** à satisfaire lors de la demande d'un permis de construire date du 1^{er} juin 2001. Elle impose, principalement pour les constructions neuves, le **respect de la réglementation thermique en vigueur**.

Dans le cas d'utilisation de bottes de paille en remplissage isolant cette exigence ne pose aucun problème particulier, le point fort de la paille étant justement ses performances thermiques.

C- Situation vis à vis de l'assurance des 'maisons en paille'

Assurer des bâtiments ayant utilisés de la paille n'a jusqu'à maintenant jamais posé de problème particulier : la plupart des assureurs ne prête pas attention au type de matériaux isolants utilisés. Certains, plus pointilleux (et c'est tout à leur honneur) demandent des compléments d'informations avant de s'engager. Dans ce cas, les propriétaires doivent collecter des données présentant les performances au feu de la paille comprimée, par exemple ici les pages 18 à 20.

Si, malgré ces informations l'assureur demandait des surprimes d'assurance, un conseil : profitez-en pour changer de compagnie d'assurance.

 *Signer un contrat d'assurance ne doit pas vous abstenir de vérifier qu'il ne contient pas une clause limitant les garanties dans le cas, par exemple, d'utilisation de techniques ou matériaux spécifiques...Même si ceci n'a jamais été rencontré, il faut toujours se méfier des écrits en bas, en petit,*

⁸ Pour les Etablissements Recevant du Public (E.R.P.), des exigences spécifiques de comportement au feu sont à apporter. Selon le type de classement de l'E.R.P. et la capacité des professionnels instruisant le dossier à accepter les tests présentés, les autorisations seront ou non faciles à recevoir. Actuellement, d'après nos sources, deux projets d'E.R.P utilisant de la paille sont en cours de réalisation.

D- Les garanties professionnelles

Si en France la législation n'interdit pas aux professionnels de mettre en œuvre des techniques de construction non référencées (voir paragraphe A), elle les oblige par contre à apporter à leurs prestations un ensemble de garanties professionnelles (de 'parfait achèvement', biennale, décennale,...).

Les garanties professionnelles sont le principal frein au développement de l'utilisation de la paille comme matériau de construction.

Les assureurs exigent généralement, pour couvrir les travaux de leurs clients artisans, entrepreneurs ou architectes, qu'ils suivent les règles de l'art, c'est à dire, qu'ils suivent ce qui est annoté dans les textes de références (normes, DTU, Avis Technique, règles professionnelles, ...).

Cette réalité explique pourquoi l'utilisation de la botte de paille reste majoritairement réservée au monde de l'auto-construction.

Trois points à ne pas oublier

- Si nous sommes en chantier d'auto-construction, le sujet quant à l'assurabilité professionnelle n'a pas lieu d'être (les travaux réalisés par les clients ne pouvant être couverts par ce type de garantie).
- Dans une construction utilisant de la paille comme matériau isolant, sauf à avoir un projet qui cumule les choix de techniques particulières, seule la mise en oeuvre de la paille ne sera pas reconnue d'emblée pour l'assurabilité professionnelle. En d'autres termes : ce n'est pas parce que l'on remplace un isolant conventionnel par de la paille que le bâtiment tout entier deviendrait non assurable par les professionnels.
- Souvent à l'insu des professionnels qui les conseillent ou les mettent en oeuvre, de nombreux matériaux et techniques utilisés dans le bâtiment le sont alors qu'ils ne disposent pas d'avis techniques (procédure spécifique aux matériaux industriels récents) ou que leur mise en oeuvre n'est pas encore définie dans un DTU, une norme DTU ou une règle professionnelle.

Si cela ne dédouane pas l'obligation d'apporter des réponses vis à vis de la mise en oeuvre de la paille, ceci montre que cette situation n'est pas du tout spécifique à certains types de mise en œuvre ou de matériaux.

Afin de **permettre à un professionnel** d'intervenir sur des chantiers utilisant de la paille **sans se mettre 'hors la loi'** vis à vis de ses obligations de garantir ses prestations, plusieurs pistes sont possibles :

1- **Ne pas prendre en charge la phase 'mise en œuvre du remplissage isolant'.**

Par exemple :

- une entreprise fait l'ossature (là, quelque soit le type de remplissage les textes de références existent, ils sont à respecter) ;
- une équipe animée par les propriétaires gère la phase concernant la paille ;
- des entreprises peuvent alors intervenir pour terminer les travaux.

2- **Le professionnel trouve un accord avec son assureur.**

Ce type d'accord n'est pas rare avec des professionnels expérimentés et/ou avec des assureurs compétents au niveau technique qui sauront évaluer la classe de risque dans laquelle ils se trouvent. (Selon, ce type d'accord peut ou non générer pour les chantiers en question une surprime d'assurance).

3- **Le professionnel fait signer au maître d'ouvrage un courrier spécifiant qu'il n'est pas apte à garantir, fautes de textes de références ou d'accords particuliers avec son assureur, les travaux de remplissage en botte de paille.** Le client doit alors contresigner ce document en spécifiant que malgré cette information il persiste à commander à l'entreprise et/ou au maître d'œuvre la mise en œuvre de bottes de paille comme matériau d'isolation⁹.

En attendant qu'un groupe de personnes motivées prenne en charge l'écriture de règles professionnelles définissant la mise en œuvre de la paille au niveau français ou européen, la situation restera sans doute en l'état.

Il est d'usage que les compagnies d'assurance aient pour devoir d'assurer leur client : le plus simple souvent est donc que le professionnel trouve un accord sur ce point avec son assureur.

⁹ Attention, cette dernière solution, qui découle de jurisprudences envers la loi SPINETA est à utiliser avec précaution par les professionnels comme les particuliers. En tout état de cause, elle ne suffira jamais à exonérer le professionnel du non respect des textes en vigueur (là où ils existent) ou d'une malfaçon (enduits non étanches à l'eau, absence des films anti-remontées capillaires, ossature bois sous dimensionnée, enduits extérieurs trop étanches à la vapeur d'eau par rapport aux parements intérieurs, ...). Cette solution ne pourra donc que remplacer une carence de textes de référence. De plus, elle sous-entend que la demande spécifique provient d'une exigence du maître d'ouvrage : un architecte ou une entreprise qui se spécialiserait dans la mise en œuvre de paille ne pourrait donc pas utiliser cette possibilité.

PARTIE II

Repères pour la mise en œuvre de paille

Il est question dans cet ouvrage de l'utilisation des bottes de paille agricoles, modules parallélépipédiques réalisés par des 'presses' ou botteleuses' de type 'moyenne densité'. Il n'est donc pas fait référence à l'utilisation de la paille en vrac qui elle diffère totalement de la paille comprimée. Il n'est pas non plus fait référence aux panneaux de paille ou de joncs malgré des performances et un type d'utilisation pouvant être dans certains cas très proches de ceux des bottes agricoles.

1- Principes pour les bâtiments 'bois-paille' durables

Lors de la conception et de la réalisation d'un bâtiment ossature bois à remplissage en bottes de paille, il faut s'assurer à respecter les principes fondamentaux propres :

- à la construction bois ;
- à la mise en œuvre d'un matériau végétal ;
- aux spécificités de la botte de paille.

A- Construction bois

Ses principes sont clairs et connus. Ils doivent être respectés. En particulier :

- Les **sections des divers éléments de l'ossature** (poteaux, poutres, contreventement, ...). Elles sont propres à chaque bâtiment et seront calculées et validées en fonction des spécificités des projets ;
- La **connexion des pièces de bois** entre elles comme les fixations à la maçonnerie ne doit rien laisser au hasard. Les types d'assemblages peuvent faire appel à des connecteurs métalliques, des goussets bois, des fixations type clou, visse, agrafe ou cheville bois, Le choix sera fait en fonction des contraintes qu'ils auront à supporter ;
- La **protection de la structure bois** contre les insectes, les champignons, le feu et l'humidité doit être gérée en conformité avec les textes et obligations en vigueur.

L'ensemble de ces points, bien connus des professionnels est référencé dans de nombreux ouvrages techniques, entre autre dans les DTU 31.1 (Charpente) et 31.2 (Bâtiments à ossature bois).

B- Mise en œuvre de la paille en tant que végétal

Dans des conditions de protection normale, le végétal ne se dégrade pas dans le temps. Il faut donc que l'intérieur des parois où l'on place la paille respecte certaines données. Ceci passe en premier lieu par :

- La réalisation de part et d'autre du végétal de **parements le protégeant de l'eau**. Il faut avoir des parements continus et étanches à l'eau mais également des protections efficaces contre tout risque de remontées capillaires. (Ces deux points sont une des bases pour la construction d'ossatures bois pérennes, l'utilisation de la paille n'apporte ici aucune contrainte supplémentaire) ;
- La réalisation de **parements protégeant du feu**. Ceci est entre autre le cas avec des enduits à la chaux, au plâtre ou à la terre, avec des plaques de plâtres, certains panneaux bois, ... (voir paragraphe 'Essais de résistance au feu') ;
- La réalisation de **parements permettant une migration de la vapeur d'eau maîtrisée**. Il est nécessaire d'avoir un parement extérieur 'ouvert' au passage de la vapeur d'eau contrairement au parement intérieur. En général, on s'impose le respect d'une proportion de 1 à 3, c'est-à-dire que l'on réalise des parements intérieurs 3 fois moins perméables à la vapeur d'eau que les parements extérieurs¹⁰ ;

¹⁰ Connaître le comportement réel de la paille vis-à-vis de la vapeur d'eau qui traverse les parois est le principal enseignement que l'on attendait du programme scientifique de Montholier. Si l'on a appris au cours des premiers travaux que la performance isolante de la paille est très peu affectée par le taux d'humidité (voir p.17) on réalise désormais, avec le résultat des suivis que le remplissage paille ne semble pas souffrir de cette migration d'humidité. Ce, avec entre autre un point de rosée (endroit où l'humidité se condense) qui, s'il se produit dans le végétal, le fait contre le parement extérieur. Ce point, qui semble une spécificité des végétaux très

- La **protection contre les insectes et les rongeurs**. Ceci se fera par la réalisation de parements continus, n'offrant aucune 'porte d'entrée' (ou de sortie) aux visiteurs non désirés. Par ailleurs, une protection supplémentaire facile pourra consister à saupoudrer de la chaux aérienne (chaux vive éteinte) sur les bottes lors de leur mise en œuvre (voir p33).

A noter :

- ✓ Les rongeurs n'aiment pas la rigidité des fibres de paille. Ils fuient plutôt la proximité avec les humains, (excepté les loirs et les lérots) ;
- ✓ Aucun retour particulier d'habitants de 'maisons paille' se plaignant d'intrusions non désirées si ce n'est la présence de loirs dans des coffres de toitures non fermés et de souris durant les jours froids et pluvieux du chantier.

C- Spécificités de la botte de paille

En plus des spécificités que ce remplissage isolant a en tant que végétal et qui imposent les précautions présentées au paragraphe précédent, il est nécessaire de veiller :

- à empêcher tout tassement de la paille dans le temps :

Il est primordial de placer à tous les rangs, voir tous les 2 ou 3 rangs¹¹ des liteaux fixés horizontalement aux poteaux. Ainsi, selon leur fréquence, chaque botte n'aura à supporter :

- aucun poids si ce n'est son poids propre (liteaux tous les rangs) ;
- le poids de 1 à 2 bottes (pour le ballot du bas si les liteaux sont tous les 2 ou 3 rangs).

- faire le choix de **systèmes de contreventement** tenant compte des dimensions des modules de paille afin que leur pose puisse se faire de manière aisée. (voir pages 40 et 41)

Construire une maison...

Si le but est d'avoir un bâtiment performant et durable, construire une maison ne s'improvise pas. Et, contrairement aux professionnels qui ont un lot de connaissances de base et des habitudes propres, les particuliers qui se lancent dans un projet d'auto-construction devront le faire seulement après s'être formés et après avoir rencontré la réalité de ce qu'est le travail de chantier.

Le présent document par exemple ne dispensera pas les futurs auto-constructeurs de participer à un stage spécifique à la construction 'bois-paille' pour entre autre découvrir et comprendre les gestes, ... alors qu'il suffira à certains professionnels pour devenir autonomes sur le sujet.

Parce que l'auto-construction a besoin de repères sur 'un peu tout', un ouvrage très accessible permettant de faire tour du sujet est conseillé :

COMMENT CONSTRUIRE, Bâtir, Rénover, Aménager, Mémento de la construction¹²

Par ailleurs, pour ce qui est de la conception de la maison, les auteurs de ce document conseillent fortement de faire appel à un architecte, de plus au fait de l'approche bioclimatique. (Voir 'la conception bioclimatique' aux éditions 'terre vivante').

perméables à la vapeur d'eau comme la paille (voir p.17) est sans doute à l'origine de la confiance dont font preuve entre autres les constructeurs américains sur le sujet. Mais confiance ne signifie pas inconscience et réaliser des parements intérieurs plus 'ouverts' que les parements extérieurs signifie tout de même prendre un risque réel vis-à-vis de la pérennité des parois en paille. Ce risque semble pourtant être de plus en plus pris en France où les enduits terre intérieurs séduisent.

¹¹ L'habitude en France était jusqu'à peu de mettre des liteaux après chaque rangée de bottes. Les échanges avec les autres pays nous montrent qu'il paraît superflu d'être aussi prudent.

¹² Ouvrage incontournable de près de 900 pages, à commander à l'association 'Les Castors' (02.40.22.38.90)

2- Étapes de chantier spécifiques à la technique

A- Le choix de la paille

Une fois la décision prise d'utiliser des bottes de paille pour la réalisation de l'isolation thermique de murs, toitures ou autres parois, le choix des ballots devient important :

- **Un premier point consiste à vérifier que les bottes n'aient pas souffert de l'humidité.**
La paille doit en effet être sèche et, si elle a un aspect terne et grisé ou qu'elle sent fort, elle est alors considérée impropre à l'utilisation comme matériau de construction.
- **La dimension des ballots** est également un point dont il faut tenir compte.
Si à la commande il est possible de préciser une longueur particulière, les autres dimensions sont imposées par la botteleuse qui selon produira des modules de 30 à 40 cm de hauteur et 45 à 55 cm de largeur. (Ces spécificités invitent à réaliser les plans de détails qu'une fois les dimensions des bottes connues).
- En restant avec des botteleuses type 'moyenne densité', **la densité des bottes** est assez régulière d'une machine à l'autre (env. 80kg/m³). On demandera néanmoins au producteur de 'tendre' au maximum les ficelles de façon à avoir des modules faciles à travailler et peu sensibles aux manutentions.
- **Le choix du type de paille** ne semble pas de première importance. De nombreuses céréales ont été utilisées sans que l'on remarque de différences de comportements des parois réalisées. Néanmoins, si le choix est très ouvert on préférera les pailles issues de cultures biologiques et, coté variétés, celles réputées les moins putrescibles, à savoir, de la plus résistante à la moins résistante : paille de riz, de seigle, de triticale, de blé, d'orge et d'avoine.



Des andins réguliers et une vitesse constante sont les gages de bottes très régulières



Acheter des ballots 'sains' et à dimensions ne suffit pas, ils doivent également être **entreposés correctement**.

Cela a d'autant plus d'importance si le stock reste longtemps en attente entre la fourniture et la pose. Si c'est le cas et si les bottes livrées ne peuvent être entreposées au sec et à l'intérieur d'un bâtiment, il faudra au minimum :

- **surélever** (isoler) le bas du tas par rapport au sol
- **ranger** les bottes de dessus en forme de pyramide
- **couvrir** le tout d'une bâche correctement arrimée
- **permettre l'écoulement de la condensation** qui ne manquera pas de se former coté intérieur de la bâche.

Une mauvaise protection de la paille sur plusieurs mois peut faire perdre tout ou partie du stock



À noter :

Faute de débits suffisants, la production de bottes pour la construction doit encore s'adapter aux standards des machines agricoles et à un rythme de production annuelle. De plus, la recherche d'un 'producteur' équipé de botteuse type 'moyenne densité' n'est pas aisée dans toutes les régions. Ces contraintes sont trop éloignées de celles acceptables par les professionnels du bâtiment, de fait, l'utilisation en plus grand nombre de bottes de paille dans le bâtiment devra assez vite générer l'installation d'ateliers de production proposant des modules réguliers dimensionnés à la demande.

L'aspect rustique de certaines étapes de la construction d'une 'maison paille' ne doit pas faire oublier que nous avons avec ce matériau une réponse pour construire des bâtiments durables et aux performances thermiques et environnementales exceptionnelles



B- Préparation des ballots

Dans l'attente de productions de modules spécifiquement adaptés au bâtiment (bottes très régulières et déjà retaillées), l'étape qui précède systématiquement la mise en œuvre des bottes consiste à **vérifier leur longueur**.

La seule façon de le faire est d'**utiliser un gabarit** (voir photo). Il n'est pas rare alors que 5 à 10% de ballots soit trop courts, soit trop longs. Ils sont alors mis de côté pour les parties de bâtiments où une adaptation des modules de base sera nécessaire (travées plus étroites, pignons, ...).

Concernant la commande des bottes, la prudence veut donc que l'on demande 10% de plus de bottes que le nombre apparemment suffisant.

Vérification de la longueur d'une botte dans le gabarit



Dans le cas d'une pose 'horizontale' (fibres horizontales c'est-à-dire dans le sens du flux thermique), **les ballots devront être 'taillés'** pour :

- permettre la réalisation de murs réguliers ;
- améliorer la qualité d'accroche des enduits et limiter leur épaisseur.

Ce travail se fait soit avant la pose des bottes (à l'aide de scie à ruban, scie à fourrage, scie sabre, ...), soit une fois les bottes mises en place (à l'aide d'une débroussailleuse, scie à fourrage, gros taille haie, ...).



Taille des ballots à la scie 'ruban'

Dans le cas d'une pose 'verticale' (fibres verticales c'est-à-dire perpendiculaire au flux thermique), aucune préparation de ce type ne sera nécessaire.



Certains professionnels font le choix de 'pré tremper' les bottes dans une barbotine avant la pose. La couche d'accrochage est alors considérée réalisée. Après plusieurs essais et chantiers, cette solution n'est pas retenue par les rédacteurs de cet ouvrage (pose des bottes devenant fastidieux, surtout dans le cas d'un trempage juste avant pose, manque d'expansion des bottes au droit des ossatures et soucis de stockage et de séchage si les bottes ne sont pas posées aussitôt après trempage, ...).

Trempage dans la barbotine



C- Adaptation des dimensions des bottes

Dans le cas où un ballot de paille ne peut pas rentrer dans un espace, il est nécessaire de le redimensionner :

- **pour raccourcir une botte**, on replace deux nouvelles ficelles à dimensions en utilisant pour 'percer' la botte une grosse aiguille métallique (voir photo). Ensuite, on coupe les anciennes ficelles et l'on dégage la matière excédentaire.
- **pour diminuer la largeur d'une botte**, réaliser une encoche ou tout autre réservation, on utilise une égoïne, une scie sabre, une scie à fourrage, une scie à ruban, une disqueuse avec un disque 'matériau', ...



Utilisation d'une aiguille et coupe d'une botte

Ce travail d'adaptation des modules de base n'est pas long mais fastidieux. On cherchera donc à le limiter par la réalisation de plans de détails adaptés aux dimensions réelles des bottes.

Néanmoins, même avec un travail d'étude affiné, sauf à organiser l'ensemble des plans de conceptions en fonction du type de remplissage, on retrouvera toujours, quelques ballots à retoucher par chantier.

Ce sera usuellement le cas lorsque :

- l'entraxe des travées ne correspond pas à la longueur des ballots (au niveau de fenêtres étroites par exemple) ;
- en pignon où l'on doit ajuster les bottes à la pente du toit ;
- dans les angles où selon la technique choisie une des bottes devra comporter une encoche, ...



Ballot de paille entaillé dans un angle

D- Pose des ballots

Les ballots de paille peuvent être posés de deux manières :

➤ Pose 'horizontale'

Les bottes sont couchées sur les cotés comportant les ficelles, le sens de la fibre est horizontale c'est-à-dire dans le sens du flux thermique. **Le mur sera plus épais** (de 45 à 50 cm) pour une performance thermique moindre. Par contre, la paille une fois taillée offrira une accroche **facile à l'enduit** (voir § 'Paille et enduits').

Longueur des bottes :

En pose 'horizontale', la botte peut aisément être forcée entre les montants. On estime ainsi que des modules rentrant légèrement en force dans un gabarit dont le vide est de 'n' cm passent en final sans problèmes dans un mur dont le vide entre montants est de 'n-4' cm.



En pose 'fibres horizontales', les ballots peuvent facilement être rentrés 'en force'

➤ Pose 'verticale'

Les cotés comportant les ficelles correspondent aux parements des parois, le sens de la fibre est verticale soit perpendiculaire au flux thermique.

Le mur sera un peu moins épais (≈ 40 cm) pour une **performance thermique meilleure** (d'après les études allemandes, la paille 'fibres verticales' est 50% plus isolante que 'fibres horizontales', voir p 22).

L'accrochage de l'enduit sera de toute évidence inférieur mais bien suffisant. (Tests de Montholier (voir § 'Paille et enduits') et échanges avec les constructeurs d'outre-Atlantique).



Pose de ballots avec fibre verticale

Longueur des bottes :



En pose 'verticale', les bottes peuvent difficilement être entrées en force entre les poteaux. On estime que des modules rentrant légèrement en force dans un gabarit de 'n' cm de vide ne pourront pas être proposés pour des murs dont le vide entre poteaux sera supérieur à 'n' cm.

Lorsque l'on entreprend la mise en œuvre de la paille, on travaille généralement façade par façade, lit par lit.

Des liteaux sont alors fixés toutes les rangées de bottes, ou parfois seulement toutes les 2 ou 3 rangées. Leur utilité première est d'empêcher tout tassement cumulé de la paille mais aussi de permettre l'utilisation de poteaux étroits. En effet, la présence régulière de ces pièces horizontales empêche tout risque de flambage des poteaux.



Des liteaux seront fixés à chaque rangée de bottes, ou tous les 2 ou 3 rangs.

La présence de liteaux sert également, au moment de la pose des bottes, de référence pour un montage facile de murs droits et réguliers.



Précaution superflue pour beaucoup, le saupoudrage de chaux vive éteinte (appelée également chaux éteinte du bâtiment et référencée en 'CL' ou 'DL') est une protection supplémentaire facile contre d'éventuelles intrusions de rongeurs ou d'insectes.

E- Préparation des supports sous enduits

Chaque fois qu'un parement doit être enduit, les **interfaces entre bois et enduits**, que l'on trouve particulièrement aux angles des bâtiments, aux entourages de baies, ... **doivent être réalisées en Fibragglo**.



Dans le cas (à éviter) où certaines surfaces de bois seraient quasiment à fleur de la surface à enduire, l'utilisation d'un grillage spécial type NERGALTO est obligatoire pour espérer avoir en final une surface enduite sans fissures.



Pose de plaques Fibragglo en interface bois / enduits

Une fois l'ensemble des bottes mis en place, et généralement après que le Fibragglo ait été posé (il sert alors de référence), **une vérification générale de la planéité et de l'aplomb du mur s'impose**.

Dans le cas d'une ossature décentrée, ce travail n'est qu'une simple formalité puisqu'il consiste à repousser les quelques ballots qui n'auraient pas été suffisamment plaqués contre le voile contreventant.

Dans le cas d'une ossature centrée (voir photo), ce travail se fera à deux personnes, une de chaque côté du mur avec chacune une règle et un outil type batte de base-ball qui permettra, chaque fois, de 'taper' les bottes trop ressorties.

Une fois ce travail de réglage réalisé, un 'peignage' général à la main gantée viendra enlever les petites particules de paille libre des surfaces à enduire.

Un dernier réglage permet d'entrevoir la réalisation des enduits dans de bonnes conditions



Certaines options constructives (utilisation de bottes pré trempées à l'avance, de bois 'larges', ...) génèrent en façade des joints creux entre ballots.

Pour combler ces vides on choisira de poser des bandes de Fibragglo s'ils font plus de 4 cm de largeur. Dans le cas contraire, on fera le choix d'y 'bourrer' un mélange fibres/chaux.

*Bourrage d'un mélange 'chanvre/chaux'
pour combler les vides entre bottes*



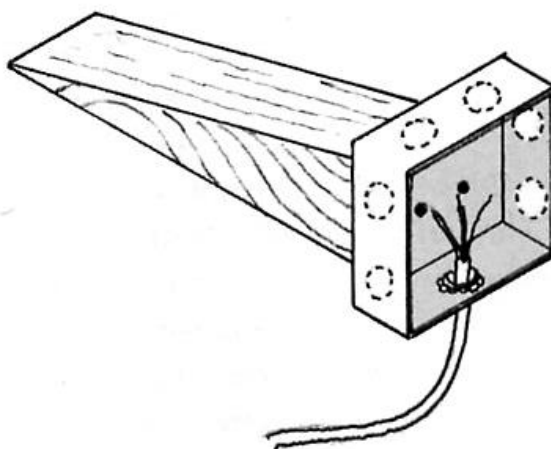
F- Electricité, plomberie, ...

L'intégration des réseaux dans les parois isolées en paille ne comporte pas d'exigences spécifiques :

- les canalisations encastrées doivent être passées dans des fourreaux réglementaires ;
- les boîtiers et autres éléments encastrés nécessitent un soin à la pose garantissant l'étanchéité de leur jonction avec le mur.

L'accroche des canalisations et autres boîtes se fera soit sur l'ossature (poteaux ou liteaux, avec ou sans cales intermédiaires), soit par l'intermédiaire de coins fichés dans la paille (schéma).

Pour une étanchéité à l'air améliorée, il est conseillé de bourrer de l'enduit derrière chaque boîtier encastré.



G- Réalisation des parements

Le choix des parements sera fait en priorité en fonction de la surface finale que souhaitent les investisseurs ou les futurs habitants. Mais ce fait ne doit pas faire oublier que de la qualité finale des murs, comme leur durabilité, dépend étroitement de la nature et de la qualité de leurs parements.

On veillera donc entre autre à :

- **réaliser des parements continus et étanches à l'eau** (attention aux fissures, soigner les jonctions entre panneaux, entre plaques, aux droit des boîtes électriques, ...) ;
- **respecter la règle qui veut que les parements extérieurs soient plus ouverts au passage de la vapeur d'eau que les parements intérieurs.**

➤ Parements extérieurs

On choisira soit un enduit traditionnel posé directement sur la paille, soit un bardage :

Enduit extérieur :

Le choix d'un enduit extérieur invitera à préférer les techniques avec poteaux noyés au centre du mur, avec ossature décentrée mais côté intérieur, ou encore, des panneaux complets préfabriqués en atelier. Dans ce cas, la façade à enduire sera fermée en panneaux fibragglo.

Bardage :

Le choix d'un bardage imposera une ossature particulière : ossature décentrée côté extérieur, poteaux traversant ou panneaux bois complets.

Dans le cas d'un bardage, la pose d'un **écran pare-pluie** sera nécessaire entre la paille et les liteaux qui supporteront la finition en bois. Pour cet écran de protection l'utilisation de panneaux type 'feutre de bois bitumineux' est préférée à de simples films pare-pluie car elle permet d'avoir :

- une véritable étanchéité à l'air ;
- une protection contre l'intrusion d'insectes.

➤ Parement intérieurs

Selon que les poteaux soient affleurants ou non, le parement sera en bois, en plaques de plâtre (type PLACO[®] ou FERMACELL[®]) ou en enduit traditionnel.

L'enduit sera généralement réalisé avec de la chaux hydraulique, avec, en couche de finition, la possibilité, en alternative à la chaux, de mettre en œuvre du plâtre ou de la terre.



En intérieur, la résistance au feu du parement sera également un critère à prendre en compte même si les informations dont nous disposons sur le comportement au feu de la paille sont plus que rassurantes¹³.

Avec un enduit ou des plaques de plâtre, on augmentera encore la résistance au feu des parois. Dans le cas d'un parement bois, on préférera des matériaux résistants au feu (parement épais ou ignifugé) ou peu sensibles à un 'accrochage' des flammes (panneaux lisses...).

¹³ La paille comprimée ne prend pas facilement feu, et, une fois en combustion, elle ne transmet que lentement et très difficilement le feu (voir § p19). Pour imager le comportement de la paille en bottes, les Américains se plaisent à la comparer à un annuaire téléphonique, en opposition au papier libre qui correspondrait lui plus à de la paille en vrac.

H- Réalisation des enduits

Concernant les enduits, on respectera les habitudes et spécifications des enduits traditionnels, entre autre le DTU 26.1 (Enduits aux mortiers de ciment, de chaux et de mélange plâtre et chaux aérienne).

➤ L'accrochage sur la paille

Il se fera avec un mélange richement dosé en liant du type 1 volume de liant pour 1.5 à 2.5 volumes de sable*. Le mélange sera utilisé assez liquide et sera soit appliqué à la lance, soit 'écrasé' à la taloche ou au plâtroir. Son épaisseur moyenne ne dépassera pas 2 à 3 mm. De fait, de nombreuses fibres de paille resteront alors visibles (la surface gardera une rugosité propice à un bon accrochage).



La paille est un support très absorbant qu'il est impossible d'humidifier avant application de cette première couche. Les conditions météo devront donc être propices, c'est à dire qu'il faudra éviter les périodes ensoleillées et/ou chaudes, et/ou ventées.

Conseil : Des chaux adjuventées pour être moins sensibles à « l'aspiration » du support type « Tradical® 70 » facilitent cette première intervention.

➤ La deuxième couche ou 'corps d'enduit'

Elle fera entre 12 et 20 mm et sera réalisée à l'aide d'un mélange 'pâteux' moyennement dosé en liants (1 volume liant pour 2.5 à 3.5 volumes de sable*). Cette deuxième couche pourra dans certains cas, lorsque l'on recherche une perméabilité à la vapeur d'eau forte et/ou lorsque l'irrégularité du support impose un corps d'enduits très épais, se faire avec des granulats légers, type chènevotte. Dans tous les cas, l'application de cette deuxième couche sera similaire à celle que l'on peut avoir avec un support maçonné courant. Elle se fera manuellement ou mécaniquement, **sa surface devra être laissée rugueuse pour permettre une bonne accroche à l'enduit de finition.**



L'attention aux conditions climatiques devra rester de mise même si à partir de cette deuxième couche il est possible d'humidifier le support avant application de l'enduit.

*Dans le cas où l'utilisation d'une armature est nécessaire¹⁴, la pose de la trame se fera '**frais dans frais**' dans cette deuxième couche. On réalisera alors ce corps d'enduits en trois étapes :*

- première couche d'environ 10 mm ;
- pose et marouflage de la trame ;
- deuxième couche d'environ 10 mm.

Le temps entre ces deux couches d'enduits variera selon l'aspiration du support, les conditions météo et le liant utilisé. Dans la plupart des cas, il oscillera entre 15 et 30 minutes ce qui signifie que le corps d'enduits avec trame devra se faire par petites surfaces.

➤ La troisième couche ou 'couche de finition'

¹⁴ Les surfaces à tramer sont au minimum les surfaces fibragglo et 30 cm en débordement coté paille avec des ballots posés fibres horizontales. Lorsque les bottes sont posées fibres verticales, on choisira généralement tramer l'ensemble des surfaces à enduire. (Cette option de tramage intégral est choisie par certains quelques soit le type de pose)

Elle sera également réalisée comme sur un support maçonné classique. D'une épaisseur d'environ 8 mm, son dosage liant/sable variera entre 1 volume de liant pour 4 à 5 volumes de sable*. Sa réalisation pourra se faire avantageusement plusieurs semaines après la réalisation de la seconde couche. Certains préféreront même attendre plusieurs mois soit en fin de chantier afin de ne pas avoir à endommager l'enduit durant la période de travaux où les risques sont effectivement importants.

* Le dosage liant/sable dépendra du type de liant et de la qualité du sable. En repère, on suivra en priorité les spécifications du texte de référence (DTU 26.1) et les recommandations des fabricants des liants utilisés.

I- Choix des liants

Si les liants proposés sur le marché permettent de réaliser des enduits imperméables à l'eau, le souci pour chaque paroi sera également qu'au final soit respectée la différence de perméabilité à la vapeur d'eau avec des enduits intérieurs plus « fermés » que des enduits « extérieurs »... avec une exception notoire pour les enduits terre.

Le tableau ci-dessous permet de repérer le principe des combinaisons envisageables.

Parement Intérieur	Parement Extérieur
▪ Enduits terre	▪ Tout type d'enduit ou finition
▪ Chaux aérienne (CL ou DL)	▪ Bardage bois ventilé avec pare pluie perméable à la vapeur d'eau ▪ Enduits terre
▪ Chaux hydraulique (NHL) ▪ Plaques de plâtre type PLACO® +frein vapeur ▪ Plaques de plâtre type 'FERMACELL®' +frein vapeur ▪ Bardage bois ventilé sur frein vapeur	▪ Bardage bois ventilé avec pare pluie perméable à la vapeur d'eau ▪ Enduits terre ou chaux bâtard aérienne/hydraulique ▪ Enduits chaux hydraulique avec finition gratté et/ou avec corps d'enduit en chènevotte

Notes :

- Le choix du type de frein-vapeur sera fait en fonction de la perméabilité du parement opposé, la règle du 1 pour 5 devant être respectée.
- Pour calculer la perméabilité des enduits, il faudra tenir compte non seulement du liant utilisé mais également de leur épaisseur et de leur finition (un enduit ferré sera par exemple près de 2 fois moins perméable à la vapeur d'eau qu'un enduit gratté).
- On peut réaliser des enduits à base de plâtre sur la paille. Des essais sont en cours pour déterminer les limites de leur emploi. Dans l'attente ; les réserver aux finitions intérieures.
- Dans le cas d'utilisation de chaux spécialement adjuventées (pour être moins sensible à l'absorption du support, pour mieux 'coller'...) il est nécessaire de vérifier d'une part leur compatibilité avec les autres liants utilisés, d'autre part le respect de la règle concernant la perméabilité à la vapeur d'eau.
- La réalisation des enduits à base de chènevotte nécessite l'utilisation de liants spécialement formulés rendant moins vulnérable le mélange au caractère très hygrophile du granulat.
- L'enduit sur paille nécessite de rester relativement souple. Avoir un enduit souple est par exemple une des raisons qui fait que le ciment n'est pas conseillé pour des applications sur paille. Mais la réalisation d'enduits à la machine doit également être bien maîtrisée car une pression trop

importante peut générer des enduits trop denses qui de fait perdent en souplesse et entraînent des risques de fissuration.

- Le tramage nécessaire sur l'ensemble des surfaces à enduire (pose fibres verticales) ou au minimum aux changements de supports (pose fibres horizontales) se fait généralement par de la fibre de verre ou du grillage galvanisé. Dans tous les cas, la compatibilité de cette matière avec l'enduit choisi devra être vérifiée (compatibilité chimique mais également au niveau du comportement à la dilatation).

3- Exemples de gestion de détails techniques

La bonne tenue de la paille comprimée utilisée comme isolant sous-entend en priorité, comme nous l'avons déjà relevé plusieurs fois, que les parements soient étanches à l'eau. Si rendre étanche les parois d'une maison ossature bois est le travail quotidien des professionnels de ce secteur, la finition en enduits traditionnels de telles constructions est moins connue et maîtrisée.

Pourtant, si les personnes qui désirent se lancer dans la construction de bâtiments 'bois-paille' ne font pas le choix de parements réalisés à l'aide de bardages, de plaques de plâtre ou autres panneaux bois, il leur faudra savoir réaliser des enduits sans 'faille'.

L'objet de ce chapitre est donc de proposer, à partir de deux types d'ossature particuliers, un ensemble d'exemples représentatif présentant de manière détaillée comment gérer les nombreux détails spécifiques que l'on retrouve sur tout projet de construction 'bois-paille' dont au moins une des parois est enduite.

L'objet de ce chapitre est donc de proposer, à partir de deux types d'ossature, un ensemble d'exemples représentatifs et de répondre à la question

Comment gérer les nombreux détails spécifiques que l'on retrouve sur tout projet de construction 'bois-paille' dont au moins une des parois est enduite ?

Deux types d'ossatures

Ce chapitre se divise en deux parties, chacune portant sur un type d'ossature particulier :

- ossature centrée par rapport aux ballots de paille
- ossature excentrée vers l'extérieur

Deux types d'ossatures

Ce chapitre 'Exemples de gestion de détails techniques' se divise en deux parties, chacune portant sur un type d'ossature particulier.

- **Ossature centrée par rapport aux ballots de paille :** Cette solution simple à mettre en œuvre est particulièrement adaptée aux petits bâtiments rectangulaires. Elle sera préférée par les auto-constructeurs pour la réalisation de bâtiments simples et économiques.

Le système d'ossature s'appuie sur une répétition de portiques ou 'fermettes sur pied' espacés chacun de la longueur d'une botte de paille.

Cette technique demande peu de moyens de manutentions puisque toutes les pièces de bois sont manuyportables :

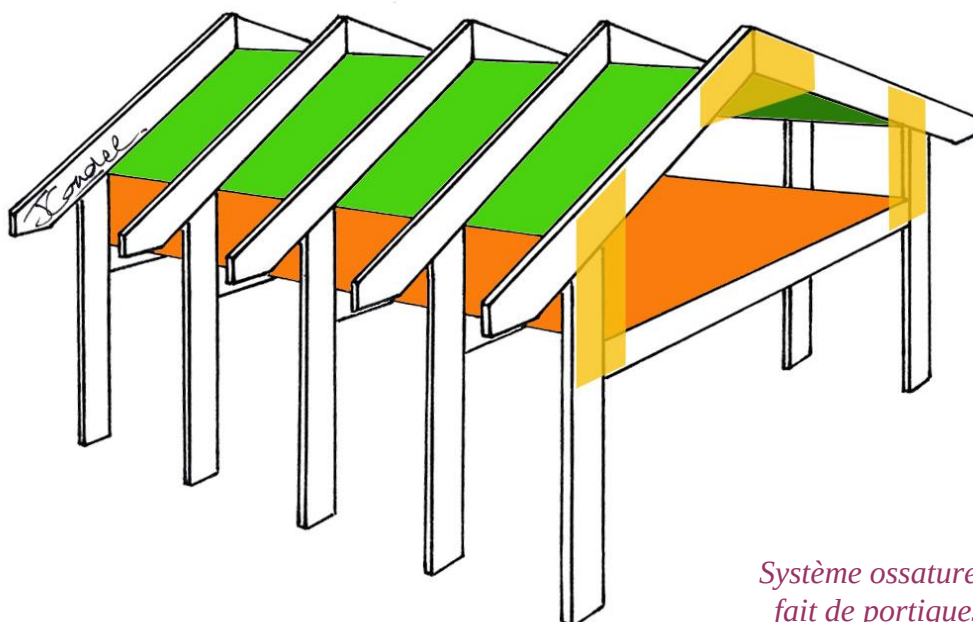
- Dans le cas de petits bâtiments les portiques seront assemblés au sol puis lever à la main ou à l'aide de palans ;
- Dans le cas de plus grandes portées, l'installation d'une panne faîtière permettra de construire les portiques sur place et donc de s'abstenir du besoin d'engins de levage.

Si en coût matériaux cette technique est la moins onéreuse, c'est celle qui nécessitera le plus de main d'œuvre si les enduits sont réalisés manuellement. En effet, sur de tels bâtiments, les postes 'ossature bois' et 'remplissage paille' sont très peu gourmands en main d'œuvre contrairement au poste 'enduits'.

Par contre, le poste 'enduit' est très peu onéreux en termes de coût matériaux... Pour des personnes aimant faire des enduits et se réservant ce poste, de tels murs avec ossature centrée sont donc particulièrement économiques.

Le contreventement global de la structure se fera par l'addition :

- de goussets bois ou agrafages qui permettent de connecter les différentes pièces des portiques entre elles et de rigidifier le bâtiment dans le sens de la largeur (modélisé en jaune sur le schéma) ;
- d'un voile travaillant en sous face des pièces de charpente, qui permet de rigidifier partiellement la structure dans la longueur du bâtiment (modélisé en vert) ;
- d'un voile travaillant en plancher d'étage ou plafond de rez-de-chaussée (modélisé en orange) qui permet comme le voile de toiture de solidariser les portiques entre eux et de rigidifier définitivement l'ensemble du bâtiment grâce à un 'agrafage' à un ouvrage en maçonnerie central (ensemble 'murs de refend', cage d'escalier faisant office de 'noyau rigide', ...).



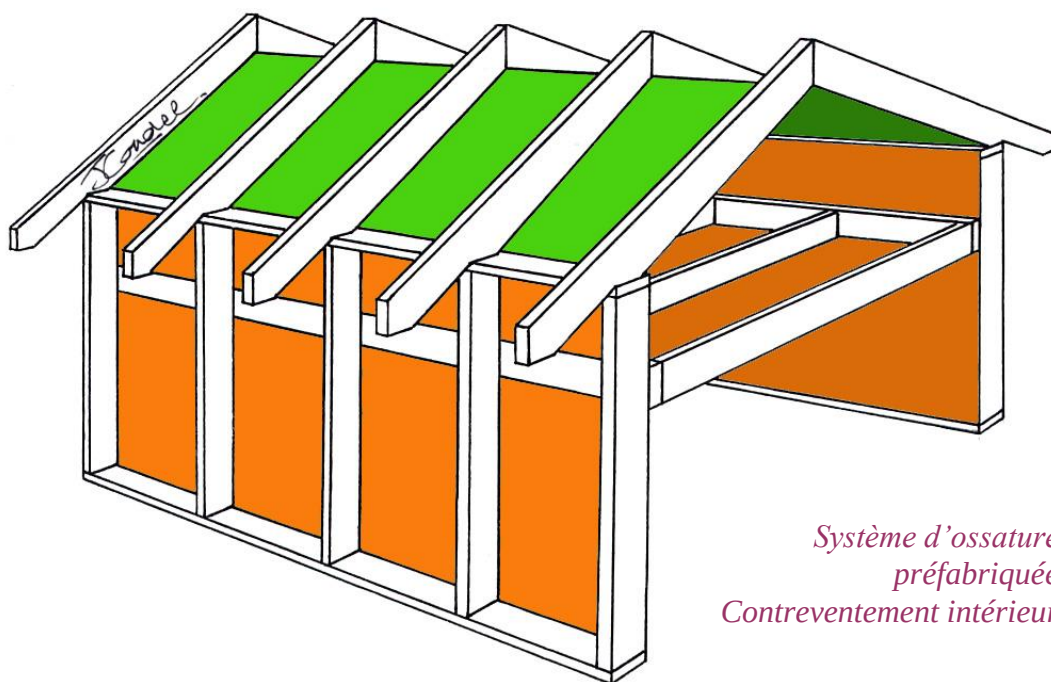
*Système ossature centrée
fait de portiques rigides*

- **L'ossature excentrée vers l'intérieur** : Sauf à avoir des professionnels organisés pour la fabrication d'éléments de façades en atelier et qui préféreront la version 'coffres bois' *, cette deuxième solution, qui consiste à aligner les poteaux au parement intérieur des bottes, est la solution qui séduira la majorité des professionnels. Elle permet la préfabrication partielle d'éléments en atelier et s'adapte à tous les types de bâtiments. C'est également un système d'ossature qui se rapproche de celui mis en œuvre usuellement par la grande majorité des constructeurs de maisons à ossature bois en France. Dans le cas d'un remplissage en ballots de paille, il leur suffit simplement d'adapter leur système aux dimensions des bottes.

Ce choix technique nécessite plus de moyens lourds dans le cas d'une préfabrication partielle en atelier (camion pour le transport, grue pour le levage des murs, ...).

Dans le cas d'une ossature excentrée à l'intérieur, seul le parement extérieur est réalisé en enduit, les finitions intérieures se résumant à la pose, sur le voile contreventant et via un système d'ossature intermédiaire adapté (litage ou ossature métallique), de plaques de plâtres ou autres finitions en bois.

Dans ce système, l'ossature est excentrée pour permettre la pose du contreventement coté intérieur. Il consistera en un voile travaillant (type OSB, trois plis ou planches obliques) pour les murs (modélisé en orange). Pour le toit ce contreventement, modélisé en vert sera similaire ou se résumera à la pose d'un simple feuillard métallique.



*Système d'ossature
préfabriquée
Contreventement intérieur*

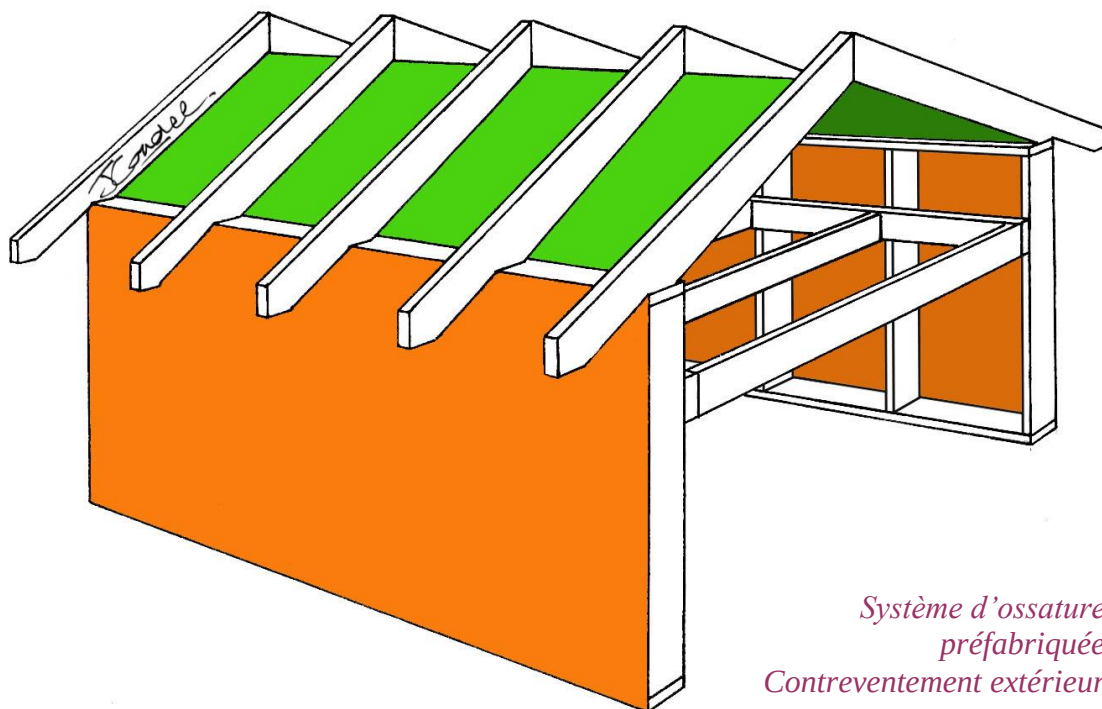
Note : Dans le cas de maisons ou de façades pour lesquelles on souhaite un parement extérieur en bois sans faire pour autant le choix de recourir à la technique de coffres bois complets, le système 'ossature excentrée par l'intérieur' sera interverti pour devenir 'ossature excentrée vers l'extérieur'. La gestion des principaux détails techniques extérieurs en deviendra plus simple pour les professionnels de l'ossature bois car elle ne sera plus spécifique au type de remplissage. Dans ce cas, juste une attention : le voile travaillant se trouvant sur la face externe de la paille, il devra être choisi avec une perméabilité à la vapeur d'eau forte : L'utilisation d'OSB (panneaux de fibres de bois orientées) n'est donc par exemple pas conseillée dans pareille situation.

* Le système d'ossature avec des coffres en bois entièrement réalisables en atelier est de toute évidence l'avenir de la construction 'bois-paille'. On peut le visualiser p 10 et sur le site <http://www.baubiologie.at>.

Deux techniques peuvent être ajoutées à celles vues précédemment. Elles ne sont toutefois pas agrémentées des dessins techniques.

- **L'ossature excentrée vers l'extérieur** : Ce système, qui est identique à celui présenté ci-dessus, permet de poser des finitions extérieures de type bardage bois. Quant aux finitions intérieures, elles pourront être réalisées avec des enduits terre. Attention à la perméabilité des parois.

Dans ce système, l'ossature est excentrée pour permettre la pose du contreventement coté extérieur. Il consistera en un voile travaillant (type OSB, trois plis ou planches obliques) pour les murs (modélisé en orange). Pour le toit ce contreventement, modélisé en vert sera similaire ou se résumera à la pose d'un simple feuillard métallique.

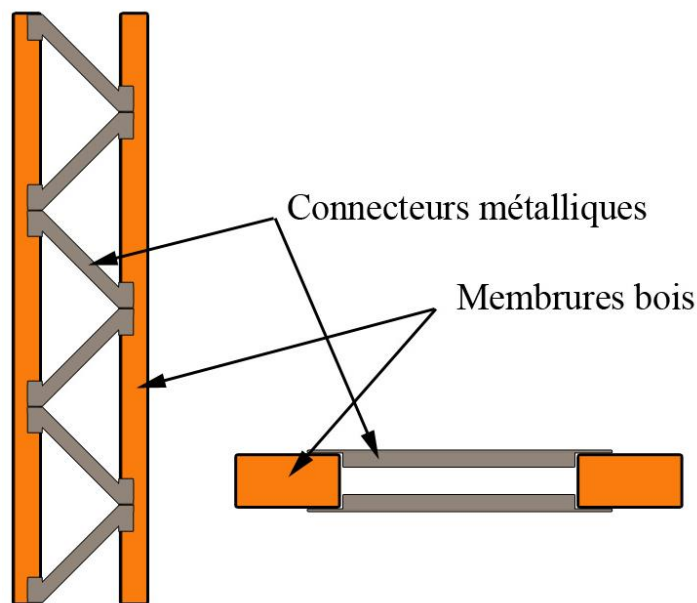


Caissons de murs préfabriqués en atelier : cette technique est aujourd'hui particulièrement développée en Autriche. Les constructeurs développent un système de murs complètement préfabriqués en atelier. Cette technique, dont la pose sur chantier est très rapide, nécessite néanmoins des moyens de mise en œuvre très développés. Il faut également mener une certaine réflexion avant de se lancer dans ce genre de projet. Elle représente toutefois l'avenir de la construction bois-paille en France.

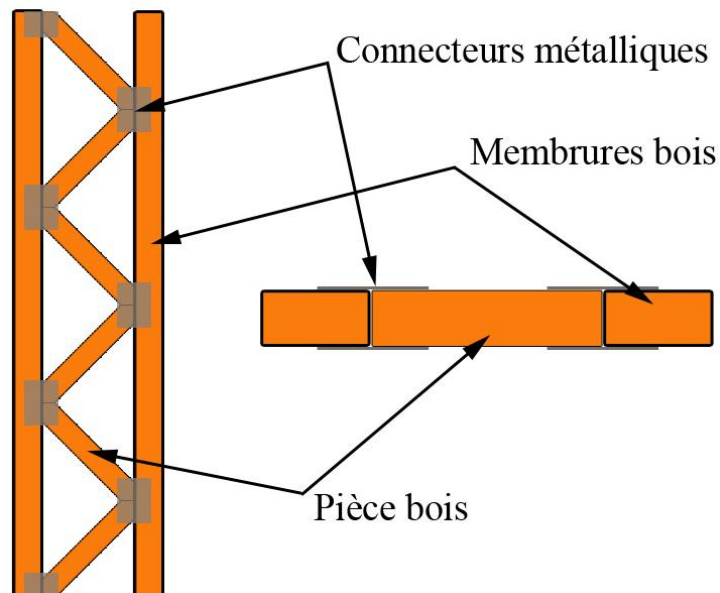
Les caissons pour les murs ainsi que les planchers sont fabriqués en atelier, où le paille et mise en œuvre beaucoup plus facilement.

Ces murs se composent d'une structure en poteaux larges (largeur du mur). On peut imaginer différents systèmes pour les réaliser, voici quelques exemples possibles :

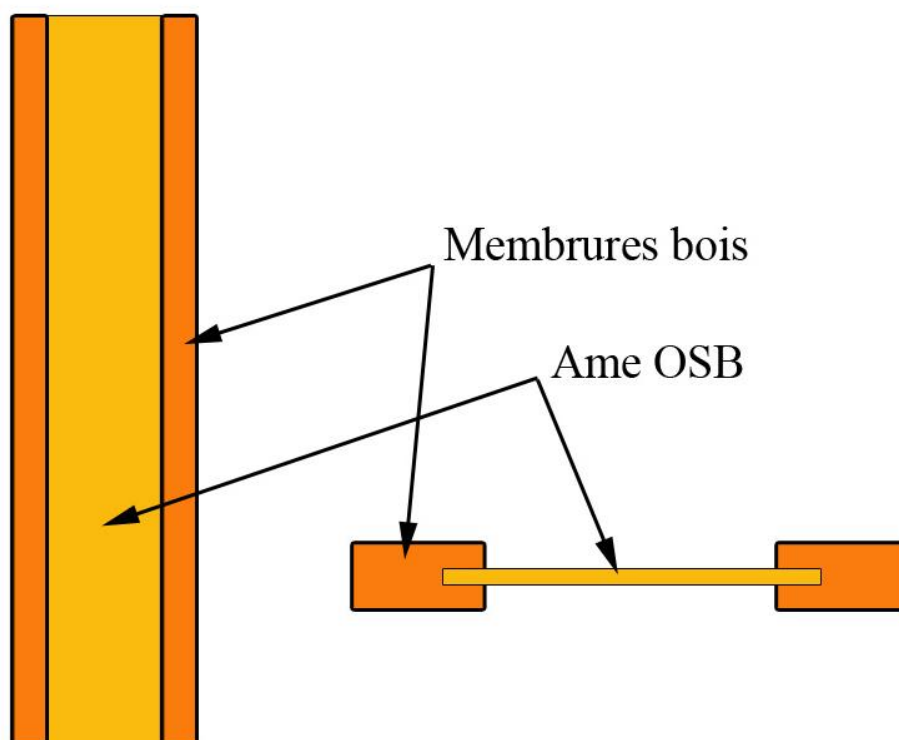
- Des poutrelles réalisées avec deux membrures de bois liées entre elles par connecteurs métalliques (système utilisé pour certains planchers de maisons à ossature bois, au Canada entre autres).



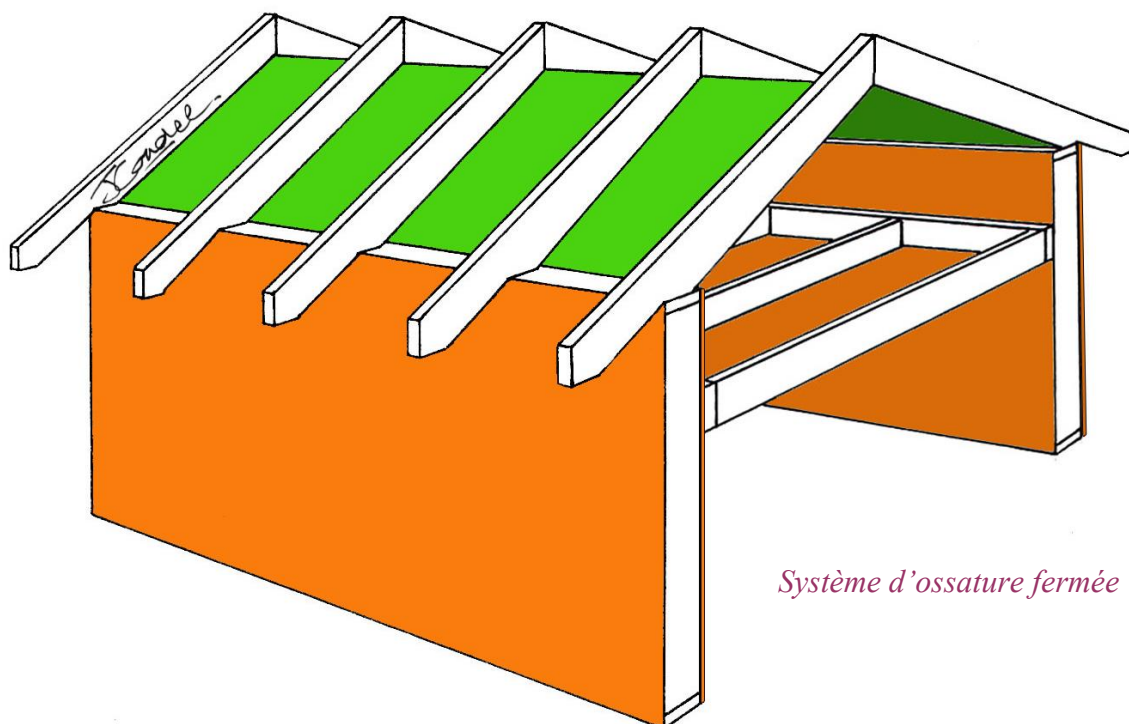
- Des poutrelles réalisées avec deux membrures de bois liées entre elles par des pièces en bois elles mêmes liées par des connecteurs métalliques (système utilisé plus particulièrement pour les fermettes industrielles).



- La dernière des solutions que l'on propose est l'utilisation de poutrelles en I en bois, avec une âme en OSB. On les utilise souvent en toiture de bâtiments.



Sur cette structure bois, dont l'entraxe correspond au module de pailles, on fixe un parement extérieur pare-pluie, souvent tenu par des lattes sur lesquelles on fixe un bardage bois. L'autre face consiste, quand à elle, en un voile travaillant, qui est lui-même couvert de plaques de plâtre par exemple.



Exemples de gestion de détails techniques

Ossature centrée

Exemple de gestion d'un angle sortant

- ① **Module de paille comprimée.** Les bottes de paille sont rentrées légèrement en force entre les poteaux. A chaque angle une des bottes devra être taillée avant pose.
- ② **Montant d'ossature.** Le fait de pouvoir fixer entre eux les deux poteaux formant les angles facilite le montage des murs. De fait on commencera souvent une façade par les angles qui, une fois légèrement haubanés, offriront alors des premiers points rigides.
- ③ **Liteaux.** Les liteaux, généralement cloués, quelque fois vissés, seront souvent posés seulement toutes les 2 ou 3 rangées de bottes. Les liteaux utilisés sont de dimensions standards (usuellement 27x40 (mm), quelques fois 27x27 ou 40x40). Mis en place pour ne pas avoir de tassements de la paille, ces liteaux empêchent également tout flambage des poteaux.
- ④ **Fibragglo.** Panneaux de fibres de bois/ciment (ou magnésie), ils assurent l'interface entre les pièces d'ossature et les enduits. Ils sont fixés grâce à des vis auxquelles on adjoint des rondelles en cuvette (souvent nommées 'rondelles placô').
- ⑤ **Enduits.** Les enduits intérieurs et extérieurs devront être différents pour permettre un parement intérieur 3 fois moins perméable à la vapeur d'eau que le parement extérieur.
- ⑥ **Trame d'armature d'enduit.** Cette armature permettant de s'affranchir de l'apparition de fissures aux changements de support sera nécessaire sur les surfaces fibragglo et devra déborder de 30 cm sur la paille. Mise en œuvre 'frais dans frais' dans le corps d'enduit, le type de trame choisi, généralement fibre de verre ou grillage galvanisé, devra être compatible avec l'enduit (compatibilité chimique mais également au niveau du coefficient de dilatation).
- ⑦ **Pièce de bois rapportée.** Elle facilite la pose et la fixation des panneaux fibragglo.
- ⑧ **Pointe lardée.** Clouer un liteau en bout génère souvent son éclatement sauf à travailler avec un cloueur et des pointes fines. Dans les autres cas, un pré perçage du liteau sera nécessaire.

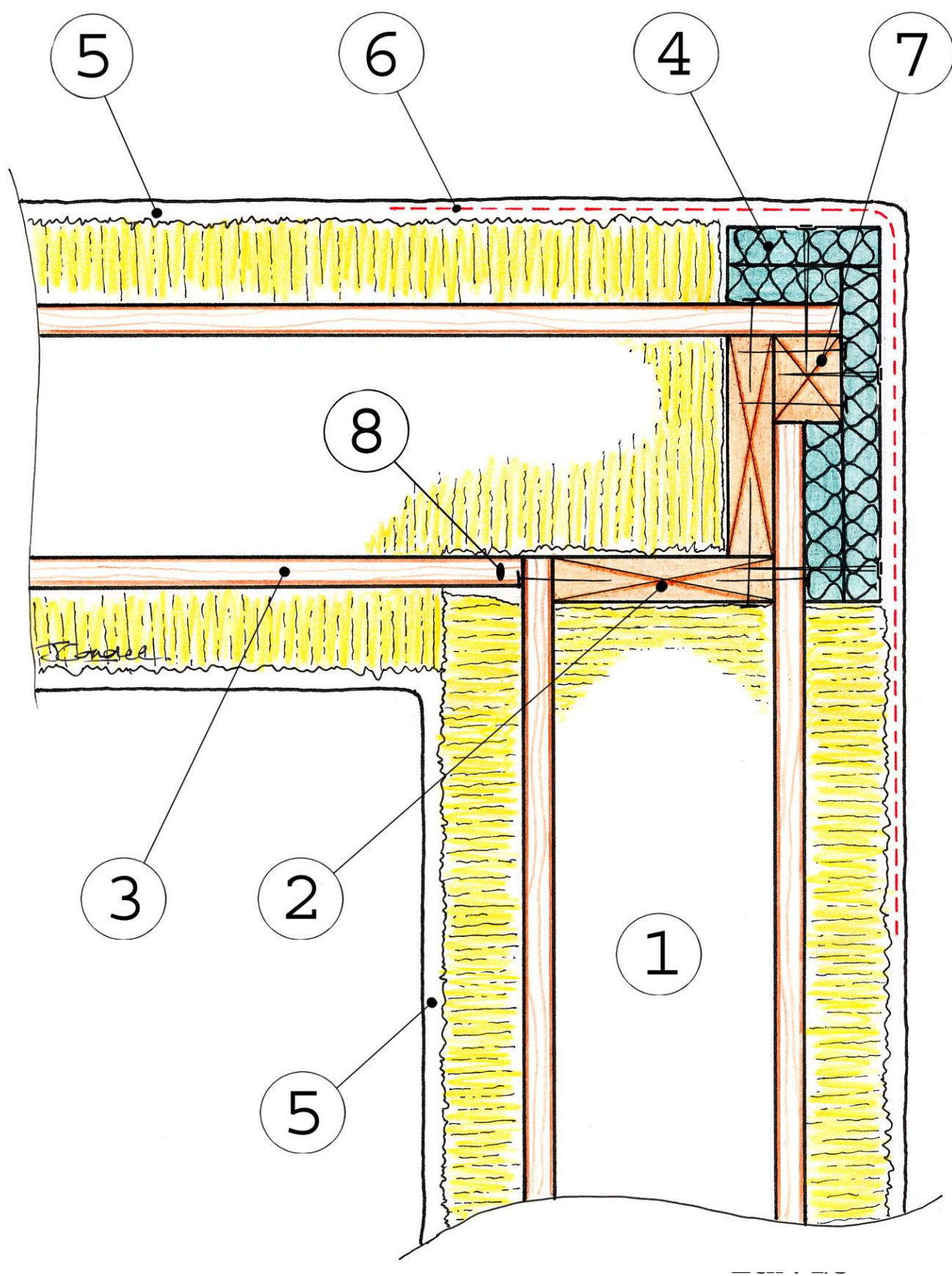
Note :

Sur les schémas présentés dans ce chapitre la paille est posée 'fibres horizontales'. La pose des bottes avec les fibres verticales, bien que peu courante en France, est non seulement possible mais comporte plusieurs avantages. Pour une même épaisseur par exemple :

- elle améliore de 50% la performance thermique de la paille (voir p 22) ;
- elle permet de réaliser des murs moins épais (environ 35 cm d'isolant au lieu de 45) ;
- elle dispense, en partie courante, de retailler les bottes.

Si l'habitude a été prise en France d'une pose 'fibres horizontales' c'est parce que l'on doutait de la qualité de l'accrochage de l'enduit. Les très bons résultats de l'accroche de l'enduit repérés sur le programme de recherche du CEBTP (voir p17) nous invitent désormais à oser 'copier' les professionnels américains et donc à enduire sur la face lisse des fibres. En 'précaution', on décidera tout de même de poser une trame sur la totalité des surfaces enduites. (Le reportage photo 'Chantier Renaudin' présente un exemple pose 'fibres verticales')

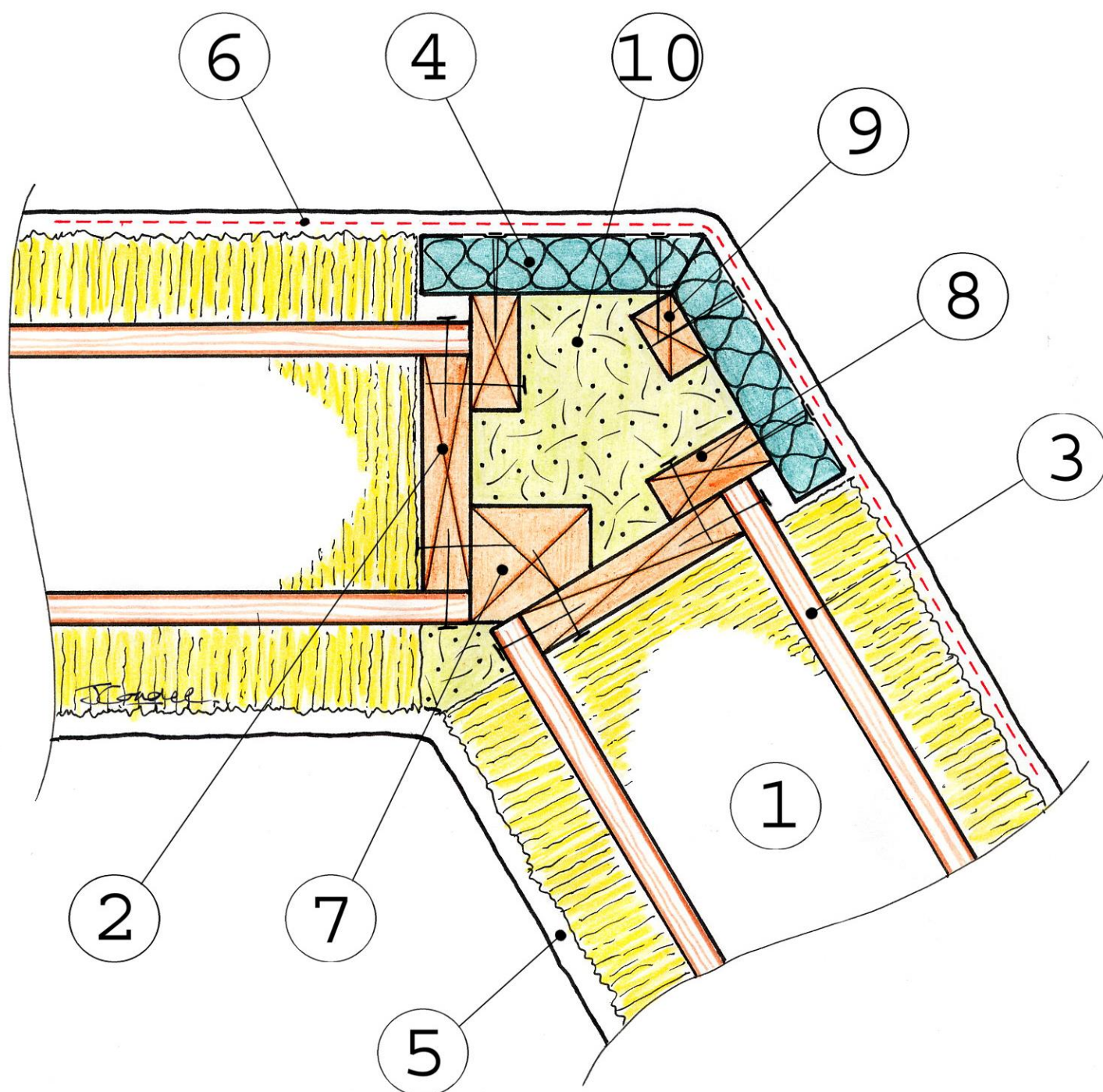
Exemple de gestion d'un angle sortant



Exemple de gestion d'un angle non droit

- ① **Module de paille comprimée.** Sur le schéma la paille est posée 'fibres horizontales' mais une pose des bottes avec les fibres verticales est non seulement possible mais, à plusieurs égards, préférables.
- ② **Montant d'ossature.** Usuellement, pour un bâtiment type 'maison individuelle' de 1 à 2 niveaux, la section utilisée pour les poteaux courants sera d'environ 4 x 20 cm si l'espacement entre poteaux correspond à une longueur de botte (entre 80 à 100 cm).
- ③ **Liteaux.** Clouer un liteau en bout génère souvent l'éclatement de celui ci sauf à travailler avec un cloueur et des pointes fines et souples. Dans les autres cas, un pré-perçage du liteau sera nécessaire.
- ④ **Fibragglo.** Panneaux de fibres de bois/ciment (ou magnésie), ils assurent l'interface entre bois et enduits. Ils sont fixés grâce à des vis auxquelles on adjoint des rondelles en cuvette (souvent nommées 'rondelles placo').
- ⑤ **Enduits.** Les enduits intérieurs et extérieurs devront être différents pour permettre un parement intérieur 3 fois moins perméable à la vapeur d'eau que le parement extérieur.
- ⑥ **Trame d'armature d'enduit.** Cette armature permettant de s'affranchir de l'apparition de fissures aux changements de support sera nécessaire sur les surfaces fibragglo et devra déborder de 30 cm sur la paille. Mise en œuvre 'frais dans frais' dans le corps d'enduit, le type de trame choisi, généralement fibre de verre ou grillage galvanisé, devra être compatible avec l'enduit (compatibilité chimique mais également au niveau du coefficient de dilatation).
- ⑦ **Poteau d'angle.** Pièce de bois servant à solidariser les deux parties de façades.
- ⑧
&
⑨ **Pièces de bois rapportées.** Permettent la pose et la fixation des panneaux fibragglo.
- ⑩ **Remplissage isolant.** Le remplissage isolant ici proposé en matériau vrac (chènevotte, billes d'argile, liège, laine de cellulose...) pourra également être remplacé par un 'béton léger'. Dans ce cas la pose de fibragglo ne sera pas forcément nécessaire (voir option retenue pour schéma page 65).

Exemple de gestion d'un angle non droit



Éch : 1/5

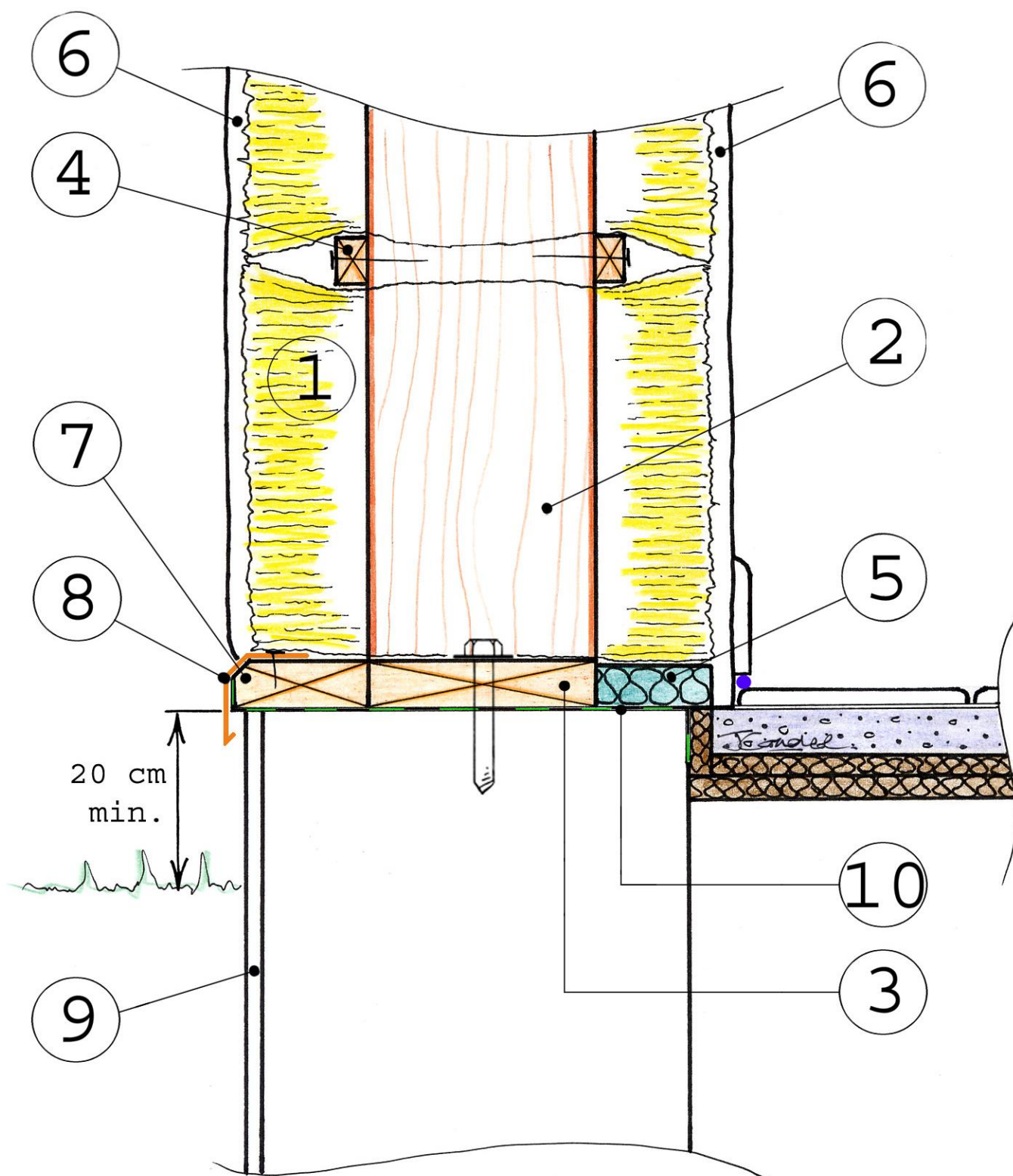
Détail fondation – pied de mur

- ① **Paille.** Si sur les schémas la paille est posée fibres horizontales, la pose des bottes avec fibres verticales est tout à fait possible. Dans ce cas, l'épaisseur du soubassement sera à adapter à l'épaisseur du mur 'bois/paille'.
- ② **Montant d'ossature.** Ils seront fixés sur la lisse basse à l'aide d'équerres métalliques spécialement vendues à cet effet. Le choix du type d'équerres et de pointes sera éclairé par les conseils d'un charpentier ou les abaques des marchands de fixations.
- ③ **Lisse basse.** La lisse basse est solidarisée au mur de soubassement à l'aide de fixations dont le type, la taille et la fréquence dépendront du bâtiment à supporter (voir charpentiers ou abaques chez les marchands de fixations).
Afin de rattraper plus facilement un niveau horizontal irréprochable, bon nombre de charpentiers posent une double lisse basse. La première suit la maçonnerie, la seconde est calée de façon à être parfaitement de niveau. (C'est l'option retenue pour le schéma p 67)
- ④ **Liteaux.** Afin de monter des rangs réguliers et droits, on veillera à ce que les liteaux soient posés de niveau. Pour ce faire, on pourra, préalablement à la pose des bottes tracer des traits de niveau au cordeau traceur (appelé également CORDEX) de part et d'autre des poteaux.
- ⑤ **Fibragglo.** Panneaux de fibres de bois/ciment ou remplissage béton isolant. (ici, on cherche juste à 'remplir le vide' pouvant être support d'enduit).
- ⑥ **Enduits.** Les enduits intérieurs et extérieurs devront être différents pour permettre un parement intérieur 3 fois moins perméable à la vapeur d'eau que le parement extérieur.
- ⑦ **Pièce de bois rapportée.** Cette pièce de bois, fixée sur le mur de soubassement sert de support au profil 'goutte d'eau'.
- ⑧ **Profil goutte d'eau.** Cette protection permet de gérer l'étanchéité des bas de murs et le délicat passage du mur maçonné au mur 'bois/paille'. Elle est usuellement réalisée en plastique ou en métal. Dans tous les cas, la matière retenue doit être compatible avec le type d'enduit mis en œuvre (par exemple cuivre ou acier galvanisé mais pas aluminium pour des enduits à la chaux).
- ⑨ **Enduit hydrofuge.** Finition classique de murs enterrés, elle pourra également être réalisée par une étanchéité plastique type 'DELTA-MS®'.
- ⑩ **Film anti-remontées capillaire :** Matériau bitumeux spécialement prévu à cet effet, cette 'barrière' devra être déroulée sur la totalité de l'interface entre mur de soubassement et mur ossature bois. Matériau gras et épais de plusieurs millimètres, l'étanchéité sera généralement faite autour des fixations par écrasement.

Notes :

- Le mur de soubassement, qui relie les fondations au bas du mur 'bois-paille' sera généralement en briques auto isolantes (notre dessin) ou en aggloméré de béton doublé d'un isolant (voir option retenue page 67). Il sera terminé par un chaînage en béton armé.
- Les solutions possibles pour la réalisation des sols intérieurs sont nombreuses et ne dépendront pas du type de remplissage utilisé pour les murs. On veillera néanmoins à gérer avec attention les éventuels risques d'infiltration d'eau en bas de murs. Sur notre schéma, le joint entre carrelage et plinthe est réalisé par un matériau souple type mastic d'étanchéité.
- La hauteur à respecter entre le sol extérieur fini et les premières pièces de bois est imposé par les textes de référence régissant la construction bois, entre autre le DTU 31.2.

Détail fondation – pied de mur



Éch. : 1/5

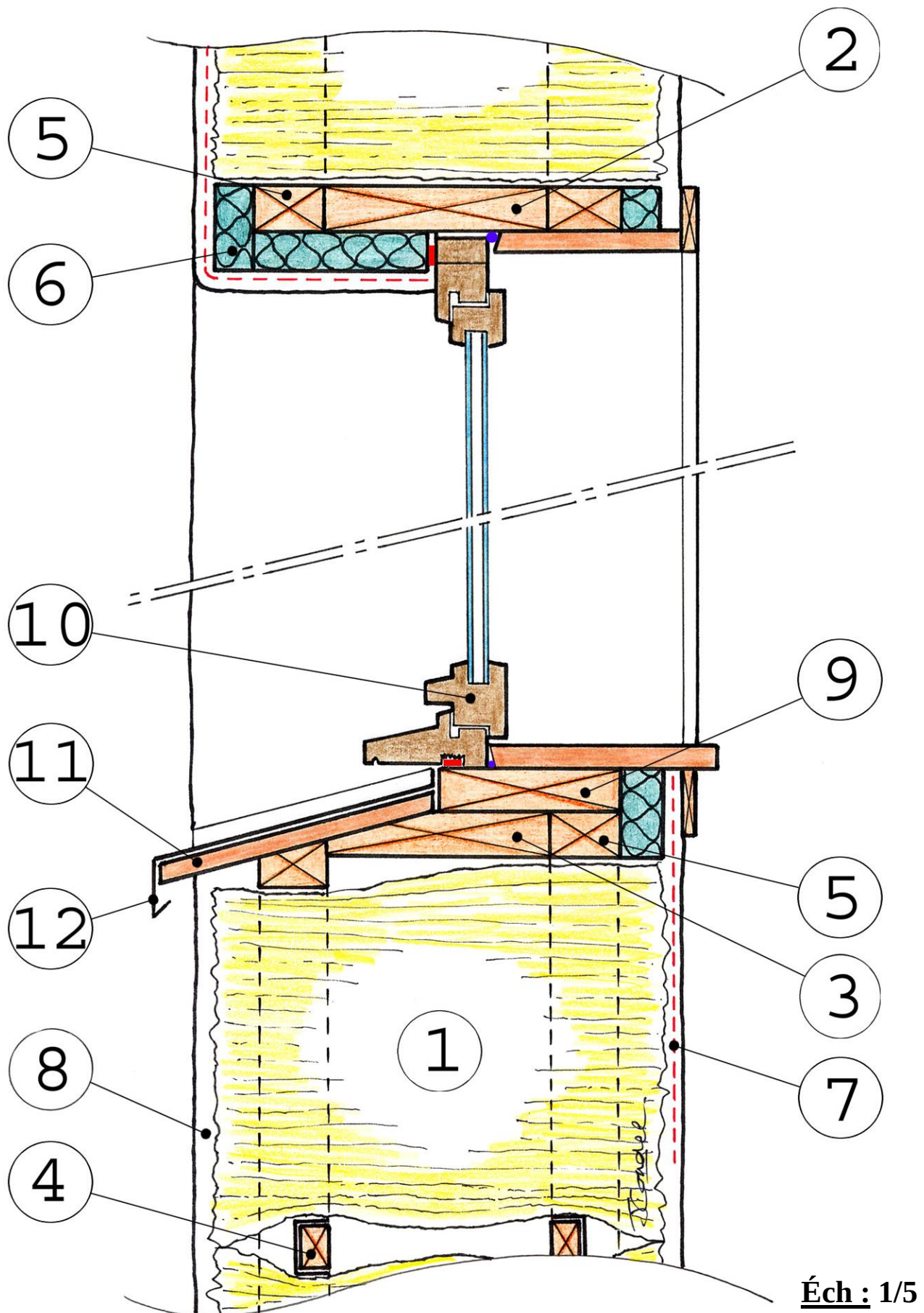
Implantation d'une fenêtre – Coupe verticale

- ① **Module de paille comprimée.** Sur le schéma la paille est posée 'fibres horizontales' mais une pose des bottes avec les fibres verticales est non seulement possible mais, à plusieurs égards, préférables.
- ② **Linteau.** Pièce de bois fixée entre les deux montants contigus à la baie (fenêtre, porte...) ce linteau sommaire deviendra un véritable coffre si la fenêtre est plus large qu'un espacement standard entre poteaux (voir schéma page 71).
- ③ **Pièce de bois 'support' baie et finition.** La pose de pièces de bois 'support' sera réalisée après pose de la botte inférieure. Cette botte de paille devra dans certains cas être retaillée pour s'ajuster à la hauteur du vide à combler.
- ④ **Liteaux.** Les pièces de bois doublant les poteaux (pointillés, voir également légende 4 dans le schéma de la page 71) devront être entaillées pour laisser 'filer' les liteaux.
- ⑤ **Lambourdes.** Ces pièces de bois sont fixées au linteau et servent de support pour son habillage.
- ⑥ **Fibragglo.**
- ⑦ **Trame d'armature d'enduit.**
- ⑧ **Enduits.**
- ⑨ **Pièce de bois 'support' baie et finition** (voir légende 3).
- ⑩ **Fenêtre.**
- ⑪ **Panneau tablette extérieure.** Panneau de bois de qualité extérieur, il sera vissé aux différentes pièces support et recevra l'étanchéité finale.
- ⑫ **Feuille d'étanchéité.** Plaque métallique servant à protéger la tablette de fenêtre, cette protection sera réalisée dans un matériau compatible avec le type d'enduit mis en œuvre (par exemple cuivre ou galva mais pas aluminium pour des enduits à la chaux). Avec un profil goutte d'eau sur le bas et des remontées sur les trois autres cotés, une pose collée permettra d'assurer une étanchéité parfaite.

Note :

- L'option prise pour le schéma ci-contre a été celle d'une fenêtre posée en milieu de mur, solution majoritaire en France. Avec une fenêtre décentrée coté intérieur ou coté extérieur comme avec une double fenêtre, les principes de gestion des entourages de fenêtres sont similaires.
- La solution proposée ici pour la gestion de la tablette reste dans les habitudes de travail des professionnels de l'ossature bois. Certains préféreront utiliser soit des pièces d'appui en béton ou en terre cuite, ou remplacer la feuille d'étanchéité par la pose de carreaux de carrelage non gélifs. Dans le cas de ce type de solutions 'maçonnées', il faudra, afin d'éviter tout risque de fissures, gérer avec attention l'interface entre l'ossature et son remplissage d'une part et les pièces maçonnées d'autre part.
- Pour une porte ou une porte fenêtre, les seuils seront gérés dans les murs 'bois-paille' de façon similaire aux autres maisons ossature bois.
- L'intégration de coffres de volets roulants est non seulement possible mais relativement aisée. Elle se fera généralement entre la fenêtre et le linteau, l'habillage du linteau venant alors recouvrir l'ensemble linteau + coffre.

Implantation d'une fenêtre – Coupe verticale



Éch : 1/5

Implantation d'une fenêtre – Coupe horizontale

- ① **Module de paille comprimée.** Sur le schéma la paille est posée 'fibres horizontales' mais une pose des bottes avec les fibres verticales est non seulement possible mais, à plusieurs égards, préférables.
- ② **Montant d'ossature.** Dans le cas d'une baie vitrée d'une largeur supérieure à l'écartement standard entre poteaux, les poteaux contigus à la baie sont généralement doublés. De plus, afin de transmettre les charges verticales, le linteau est généralement renforcé. Il pourra se résumer alors à un coffre ouvert. (Voir schéma de principe ci contre).
- ③ **Liteaux.** Les liteaux, généralement cloués, quelque fois vissés, seront désormais souvent posés seulement toutes les 2 ou 3 rangées de bottes. Les liteaux utilisés sont de dimensions standards (usuellement 27x40 (mm), quelques fois 27x27 ou 40x40). Mis en place pour ne pas avoir de tassements de la paille, ces liteaux empêchent également tout flambage des poteaux.
- ④ **Pièces bois 'support' entourage de baie.** Lambourdes fixées de part et d'autre des poteaux entourant la baie, elles posent sur la lisse basse et montent jusqu'au linteau. Elles servent de support aux joues, aux pièces de support des tablettes (int. et ext.) et au linteau. Ces lambourdes sont entaillées à chaque passage de liteaux.
- ⑤ **Fibragglo.**
- ⑥ **Trame d'armature d'enduit.** Cette armature permettant de s'affranchir de l'apparition de fissures aux changements de support sera nécessaire sur les surfaces fibragglo et devra déborder de 30 cm sur la paille. Mise en œuvre 'frais dans frais' dans le corps d'enduit, le type de trame choisi, généralement fibre de verre ou grillage galvanisé, devra être compatible avec l'enduit (compatibilité chimique mais également au niveau du coefficient de dilatation).
- ⑦ **Enduits.**
- ⑧ **Fenêtre.** Avec les vitrages performants actuels, la faiblesse des baies provient désormais principalement d'une mauvaise étanchéité à l'air de la jonction qu'elles ont avec les murs. Ici, des joints compribande (rouge) et silicone (bleu) assurent cette fonction.

Notes :

- L'option prise pour le schéma ci contre a été de celle d'une fenêtre posée au milieu de l'épaisseur du mur, solution courante en France. Les principes de gestion de l'entourage des baies présentés ici seront néanmoins quasi similaires avec une fenêtre décentrée, voir une double fenêtre.
- L'option de montage du cadre intérieur proposé dans le schéma permettra par ailleurs de changer la fenêtre sans avoir à endommager les enduits intérieurs ou extérieurs.

Implantation d'une fenêtre – Coupe horizontale

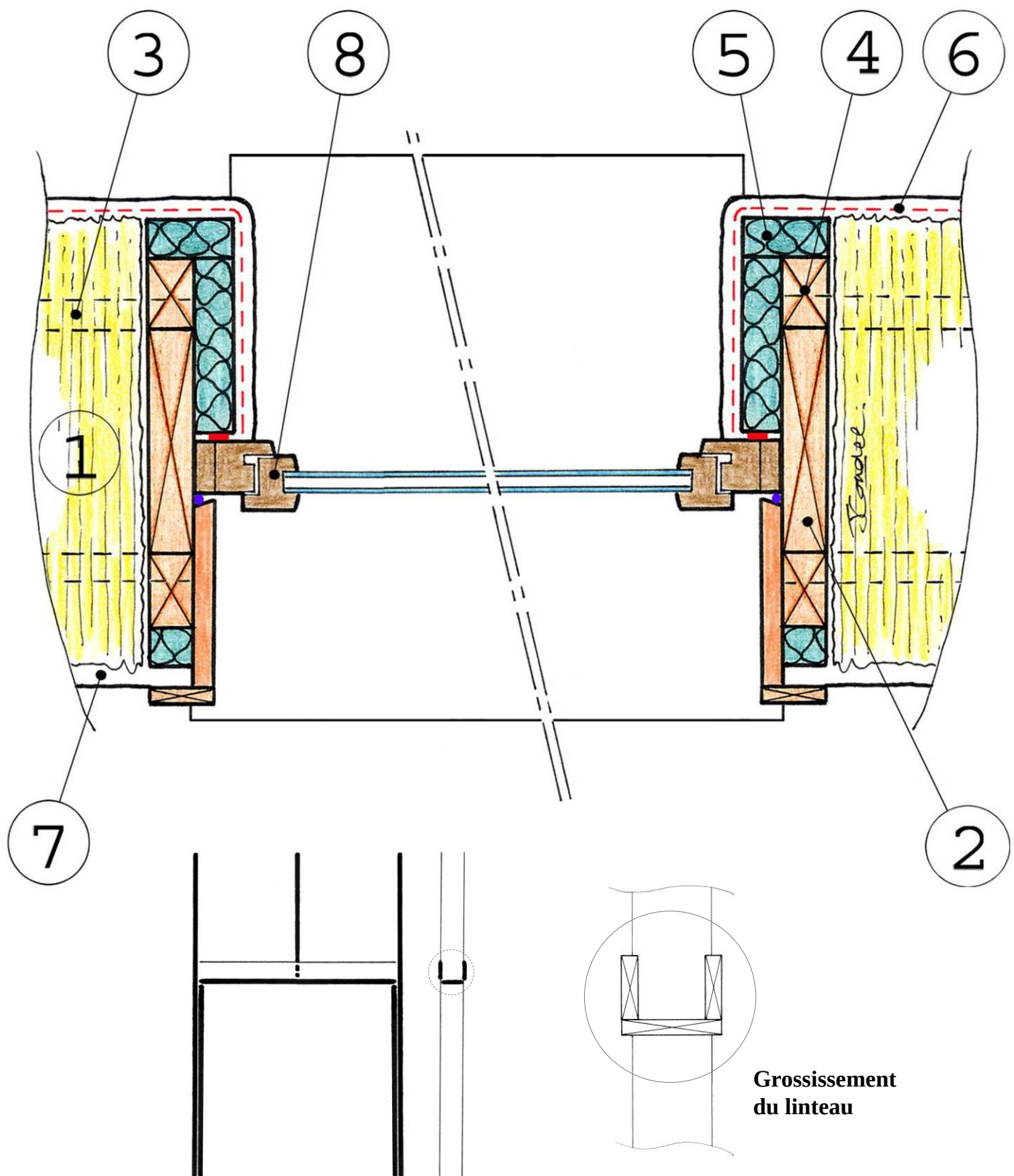


Schéma de principe de l'ossature pour une baie large

Éch : 1/5

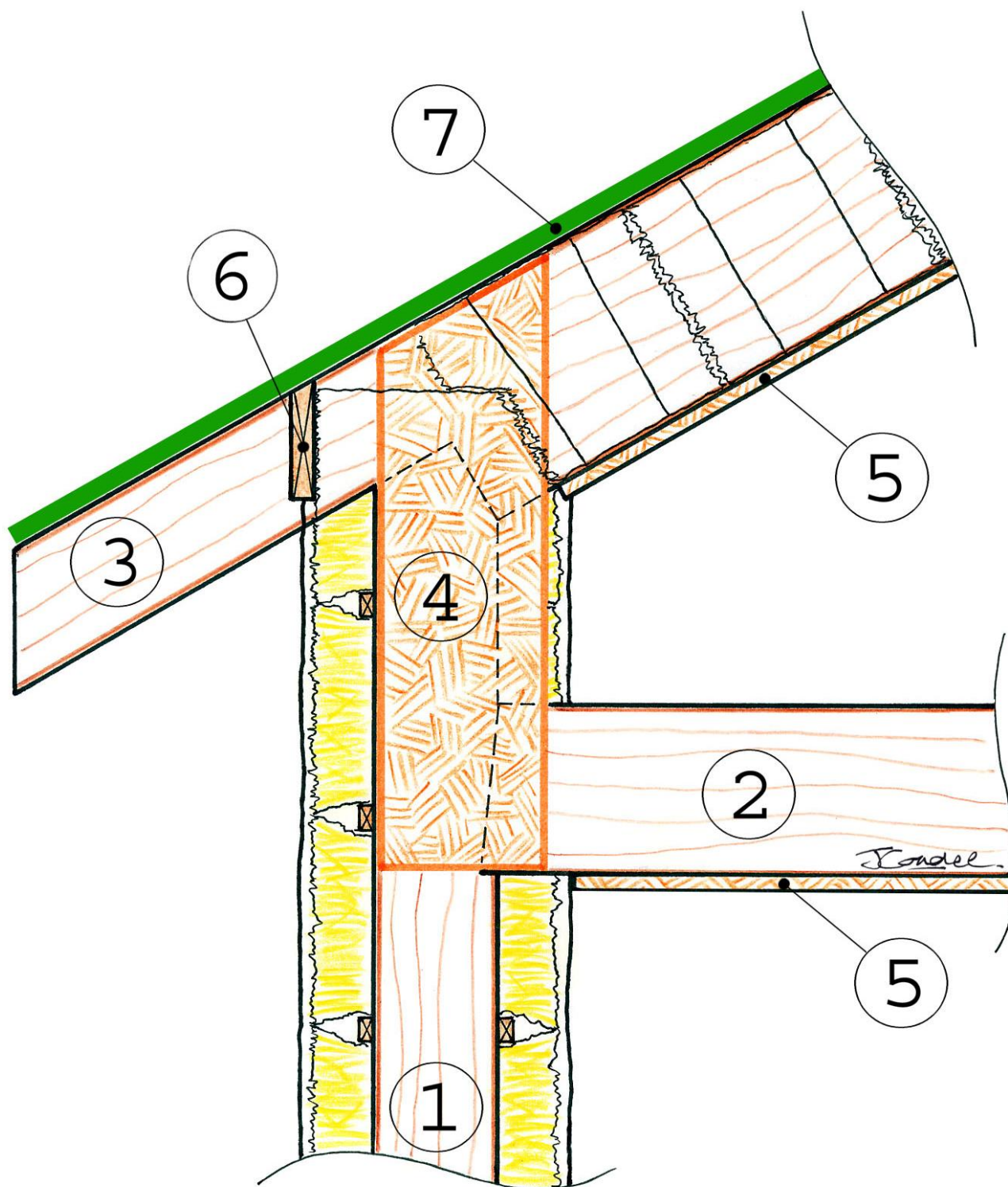
Détail système portique

- ① **Montant d'ossature.**
- ② **Solive.** Dans le système constructif présenté ici, les solives, étroites se positionnent dans le même plan que les poteaux. La hauteur des solives variera en fonction du poids qu'elles devront supporter et de la longueur qu'il y aura entre les deux façades. Dans certains cas, plutôt que d'avoir des solives trop hautes, on installera, entre les deux façades, des poteaux ou une poutre permettant de reprendre une partie de leurs charges.
- ③ **Arbalétrier** (ou chevron rampant). La toiture des maisons 'bois-paille' étant souvent isolée de paille, les arbalétriers auront alors une hauteur correspondant à l'épaisseur d'une botte de paille. De fait, pour avoir des pièces de bois d'environ 35 à 40 cm de hauteur, on préférera à une pièce de bois massif deux pièces de bois agrafées entre elles (par goussets bois ou agrafes métalliques) ou une poutre treillis réalisé en atelier. Les arbalétriers auront généralement une épaisseur similaire aux poteaux et aux solives soit généralement 4 cm (6 cm si goussets bois).
- ④ **Connecteur.** Les diverses pièces de bois formant le portique seront fixées entre elles par des agrafes métalliques ou des goussets bois (Option retenue dans le schéma). Le choix du type d'agrafes, l'épaisseur et la largeur des goussets, le type de pointes utilisées et leur densité dépendront des charges que la structure aura à reprendre. Elles seront déterminées par un charpentier ou un ingénieur bois.
Afin que la pose des bottes de paille au droit des goussets se fasse sans problèmes particuliers, on réservera pour ces endroits les bottes les plus courtes.
- ⑤ **Voiles travaillants.** Posés en sous face des arbalétriers et des solives, ces voiles travaillants seront réalisés en panneaux de bois, en planches ajourées fixées à 45°, éventuellement en panneaux FERMACELL®. Ils pourront dans certains cas être utilisés comme parement final.
- ⑥ **Pièce de bois rapportée.** Cette pièce de bois viendra parfaire l'étanchéité des coffres de toiture d'avec les murs enduits. Elle sera à placer avant les enduits.
- ⑦ **Panneaux de sous toiture.** Lorsqu'elle est réalisée en feutre de bois bitumé, la sous-toiture qui ferme un coffre isolé de paille permet, en plus de protéger l'isolant, d'assurer une véritable étanchéité à l'air et d'empêcher l'intrusion d'insectes. Attention tout de même, sa perméabilité à la vapeur d'eau devra être 3 fois plus importante que celle du parement intérieur.

Notes :

- Pour parfaire le contreventement d'un bâtiment 'bois-paille', le voile contreventant sous solives devra être fixé à des éléments de maçonnerie faisant office de noyau rigide (cage d'escalier, murs de refends, ...).
- L'entraxe entre arbalétriers ou solives étant souvent trop important dans le cas d'utilisation de panneaux de bois peu épais ou de plaques FERMACELL® pour la réalisation du voile contreventant, on devra souvent poser des lambourdes sous les pièces de charpente ou sous les solives avant de poser le voile contreventant.
- Dans le cas de bâtiments de petites dimensions, la fabrication des portiques pourra se faire entièrement au sol. Le levage se faisant alors à la main ou à l'aide de palans.
- Dans le cas de bâtiments plus grands, si le chantier ne dispose pas de grue, le montage de l'ossature se fera dans l'ordre suivant : poteaux + solives + plancher provisoire + arbalétriers. Ce, avec la possibilité, surtout dans le cas de bâtiments conséquents, de poser précédemment aux arbalétriers, une panne faîtière afin de simplifier le montage des pièces de charpente.

Détail système portique



Éch : 1/10

Exemples de gestion de détails techniques
Ossature excentrée

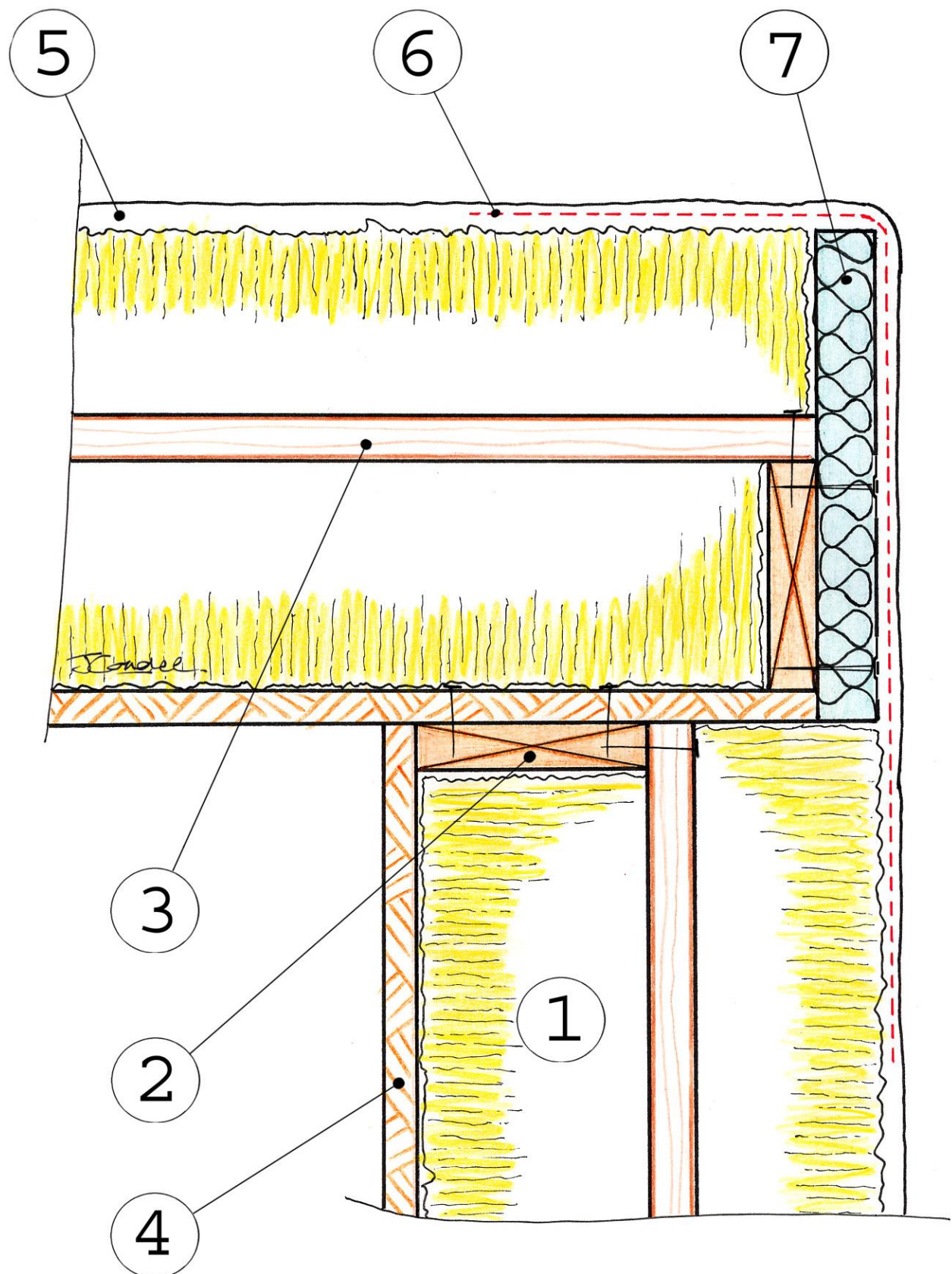
Exemple de gestion d'un angle sortant

- ① **Module de paille comprimée.**
- ② **Montant d'ossature.** Usuellement, pour un bâtiment type 'maison individuelle' de 1 à 2 niveaux, la section utilisée pour les poteaux des murs sera d'environ 4 x 20 cm s'ils sont espacés de 80 à 100 cm. Pour le système constructif présenté dans ce présent chapitre, les poteaux sont décentrés coté intérieur.
- ③ **Liteaux.**
- ④ **Voile contreventant.** Il est fixé aux poteaux et ferme ainsi le coté intérieur des coffres recevant la paille. En plus de contreventer les murs (c.à.d. stabiliser la structure aux efforts horizontaux), il empêche, avec les liteaux, le flambage des poteaux.
Le voile contreventant est usuellement réalisé en panneaux de bois type trois-plis, en OSB (panneaux de fibres de bois orientées), de planches ajourées clouées à 45° ou de panneaux FERMACELL®.
- ⑤ **Enduits.** Les enduits sont généralement des enduits traditionnels à la chaux. Leur perméabilité à la vapeur d'eau devra être 3 fois supérieure à celle du parement intérieur.
- ⑥ **Trame d'armature d'enduit.** Cette armature couvrant l'ensemble des surfaces enduites permet de s'affranchir de l'apparition de fissures. Mise en œuvre 'frais dans frais' dans le corps d'enduit, le type de trame choisi, généralement fibre de verre ou grillage galvanisé, devra être compatible avec l'enduit (compatibilité chimique mais également au niveau du coefficient de dilatation).
- ⑦ **Fibragglo.** Panneaux de fibres de bois/ciment (ou magnésie), ils assurent l'interface entre bois et enduits. Ils sont fixés grâce à des vis auxquelles on adjoint des rondelles en cuvette (souvent nommées 'rondelles placo').

Notes :

- Dans le cas d'utilisation en voile contreventant de panneaux de bois peu épais ou de plaques FERMACELL® l'entraxe entre portiques sera trop important pour leur servir de supports. On devra alors intercaler entre le voile contreventant d'une part et les solives ou les arbalétriers d'autre part des lambourdes dans le but de diminuer cet espace.
- Le système constructif présenté dans ce chapitre (avec ossature décentrée côté intérieur) permet d'entrevoir la possibilité d'avoir un système identique mais avec l'ossature décentrée du côté extérieur. Ce choix sera généralement fait lorsque l'on souhaite avoir des façades bardées de bois.
- Dans le cas d'une ossature excentrée côté extérieur le voile contreventant, qui correspond à la base du parement extérieur, sera généralement réalisé de planches obliques ajourées. Le but étant de toujours respecter la règle de 1 pour 3 et donc d'avoir un parement extérieur perméable à la vapeur d'eau.
- Malgré les atouts que trouveront les professionnels, le système le plus prometteur est sans doute celui présenté par les photos de la p.9. Là, un système de poteaux faisant la largeur du mur reçoit de part et d'autre un parement type panneaux ou planches ajourées. Si l'organisation de l'entreprise et du chantier le permet, de telles façades peuvent quasiment être réalisées entièrement en atelier. L'appropriation du matériau paille par la filière bois passera sans aucun doute par ce procédé déjà implanté en Autriche pour la réalisation de bâtiments 'passifs' (appelés également 'très basses énergie', ces bâtiments ont des besoins de chauffage environ six fois inférieurs aux bâtiments français conformes à la réglementation thermique actuellement en vigueur).

Exemple de gestion d'un angle sortant



Éch : 1/5

Exemple de gestion d'un angle rentrant

- ① **Module de paille comprimée.** Sur le schéma la paille est posée 'fibres horizontales' mais une pose des bottes avec les fibres verticales est non seulement possible mais, à plusieurs égards, préférables. (voir note ci-dessous)
- ② **Montant d'ossature.** Usuellement, pour un bâtiment type 'maison individuelle' de 1 à 2 niveaux, la section utilisée pour les poteaux des murs sera d'environ 4 x 20 cm s'ils sont espacés de 80 à 100 cm. Pour le système constructif présenté dans ce présent chapitre, les poteaux sont décentrés coté intérieur.
- ③ **Liteaux.** Les liteaux, généralement cloués, quelque fois vissés, seront désormais souvent posés seulement toutes les 2 ou 3 rangées de bottes. Les liteaux utilisés sont de dimensions standards, usuellement 27 x 40 (mm), quelques fois 27 x 27 ou 40 x 40.
- ④ **Voile contreventant.** Il est fixé aux poteaux et ferme ainsi le coté intérieur des coffres recevant la paille. En plus de contreventer les murs (c.à.d. stabiliser la structure aux efforts horizontaux), il empêche, avec les liteaux, le flambage des poteaux.
Le voile contreventant est usuellement réalisé en panneaux de bois type trois-plis, en OSB (panneaux de fibres de bois orientées), de planches ajourées clouées à 45° ou de panneaux FERMACELL®.
- ⑤ **Enduits.** Les enduits sont généralement des enduits traditionnels à la chaux. Leur perméabilité à la vapeur d'eau devra être 3 fois supérieure à celle du parement intérieur.

Notes :

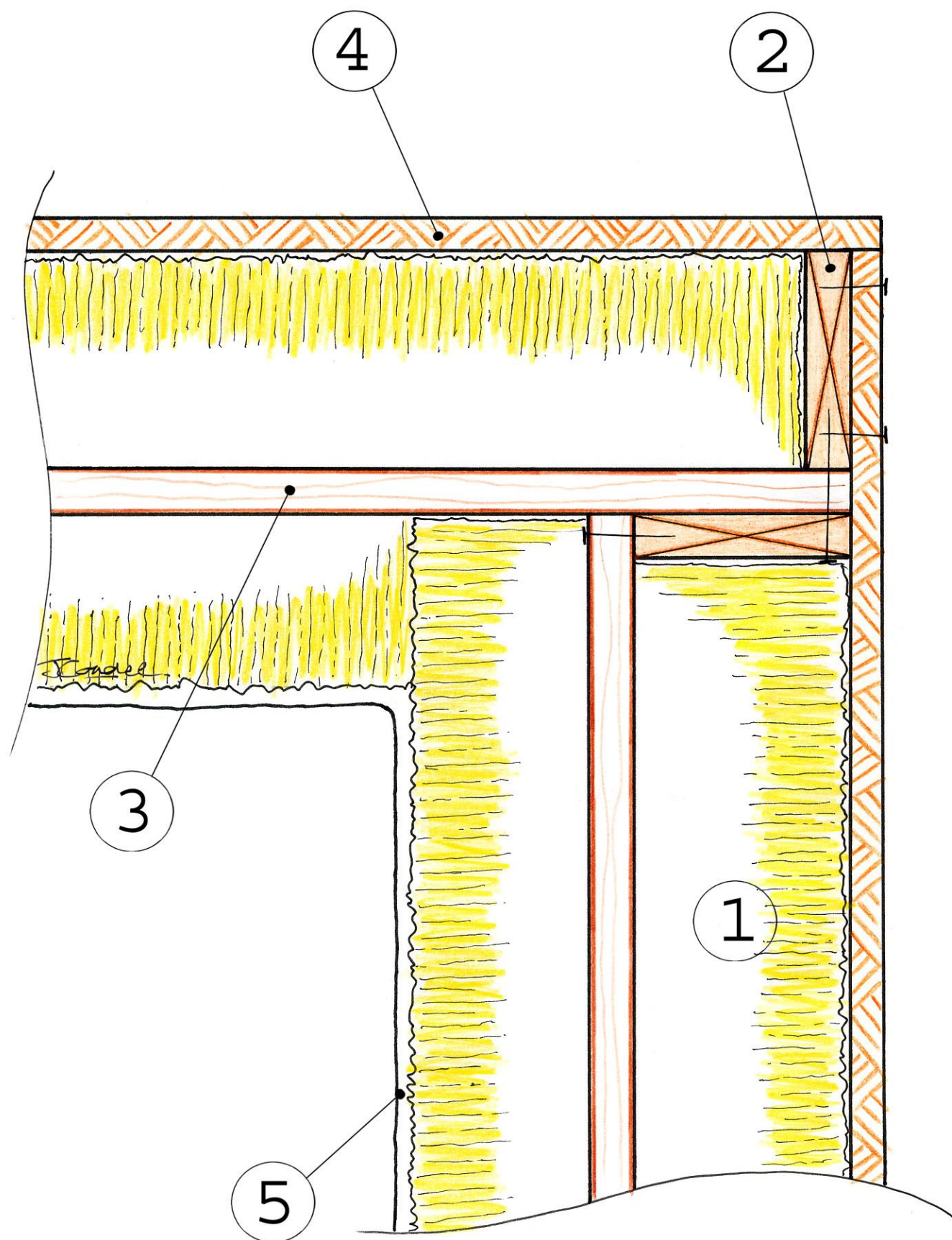
▪ Sur les schémas présentés dans ce chapitre, la paille est posée 'fibres horizontales'. La pose des bottes avec les fibres verticales, bien que peu courante en France, est non seulement possible mais comporte plusieurs avantages. Pour une même épaisseur par exemple :

- elle améliore de 50% la performance thermique de la paille (voir p22)
- elle permet de réaliser des murs moins épais (environ 35 cm d'isolant au lieu de 45)
- elle dispense, en partie courante, de retailler les bottes.

Si l'habitude a été prise en France d'une pose 'fibres horizontales' c'est parce que l'on doutait de la qualité de l'accrochage de l'enduit. Les très bons résultats de l'accroche de l'enduit repérés sur le programme de recherche de Montholier (voir p 16) nous invitent désormais à oser 'copier' les professionnels américains et donc à enduire sur la face lisse des fibres. En 'précaution', on décidera tout de même de poser une trame sur la totalité des surfaces enduites. (Le reportage photo du chapitre IV présente un exemple pose 'fibres verticales')

▪ Dans le cas d'une pose 'fibres verticales', réaliser une feuilure ou d'autres adaptations sur les bottes peut s'avérer complexe dans le sens où il faudra déplacer plusieurs fois les ficelles pour réaliser la coupe. Afin d'éviter ce travail fastidieux, certains préféreront ne mettre en place que des bottes parallélépipédiques régulières et combler les vides à l'aide de Fibragglo ou de béton végétal.

Exemple de gestion d'un angle rentrant



Éch : 1/5

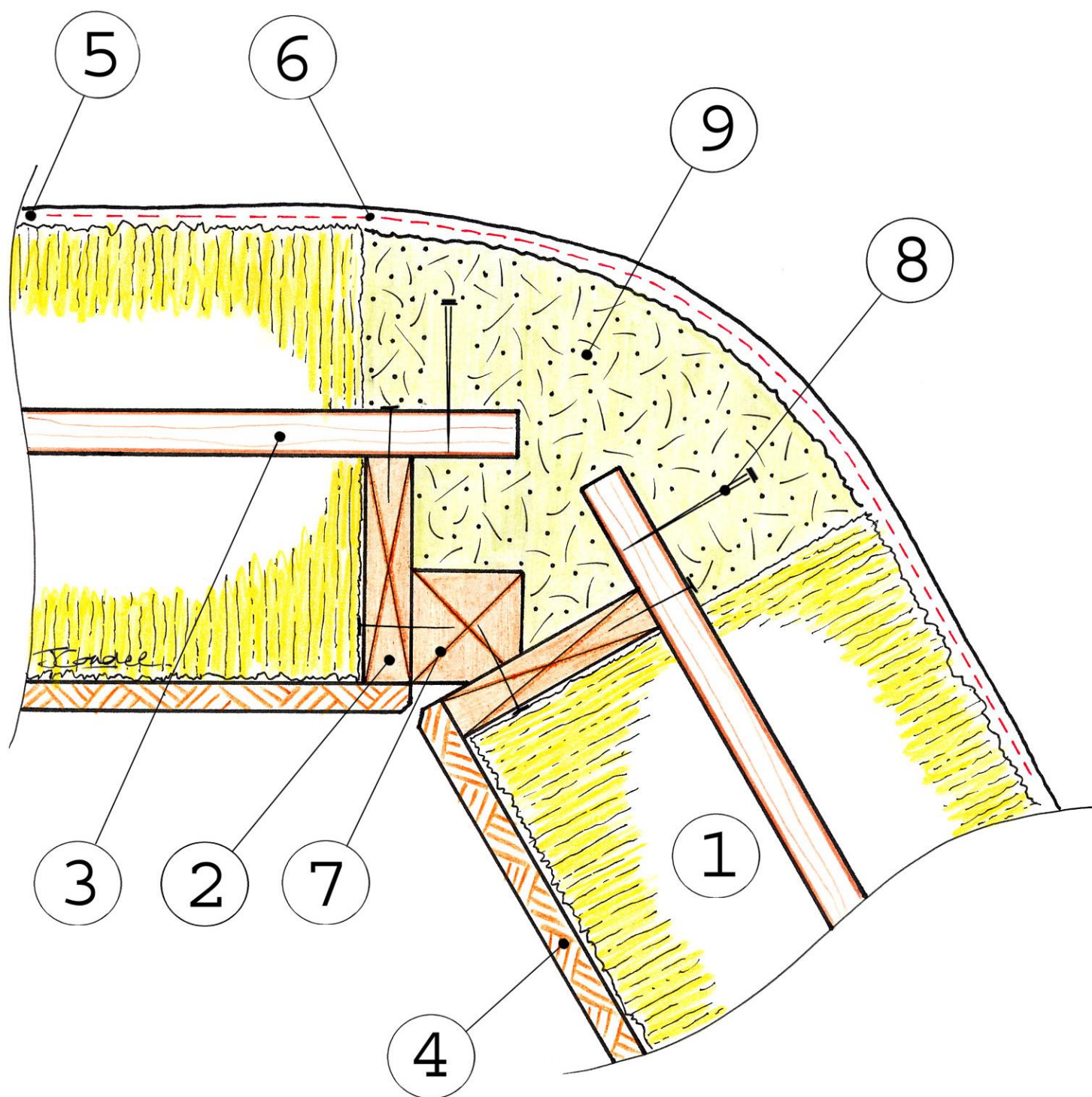
Exemple de gestion d'un angle non droit

- ① **Module de paille comprimée.** Sur le schéma la paille est posée 'fibres horizontales' mais une pose des bottes avec les fibres verticales est non seulement possible mais, à plusieurs égards, préférables.
- ② **Montant d'ossature.** Usuellement, pour un bâtiment type 'maison individuelle' de 1 à 2 niveaux, la section utilisée pour les poteaux courants sera d'environ 4 x 20 cm si l'espacement entre poteaux correspond à une longueur de botte (entre 80 à 100 cm).
- ③ **Liteaux.** Les liteaux, généralement cloués, quelque fois vissés, seront désormais souvent posés seulement toutes les 2 ou 3 rangées de bottes. Dans le cas de tels angles (angles sortants obtus) dont le vide est comblé d'un béton isolant (chanvre/chaux, terre/bois, terre/paille...), on sera tenté de faire dépasser les liteaux des poteaux dans le but de solidariser le mélange coulé à l'ossature du bâtiment.
- ④ **Voile contreventant.**
- ⑤ **Enduits.** Les enduits sont généralement des enduits traditionnels à la chaux. Leur perméabilité à la vapeur d'eau devra être 3 fois supérieure à celle du parement intérieur.
- ⑥ **Trame d'armature d'enduit.** Cette armature couvrant l'ensemble des surfaces enduites permet de s'affranchir de l'apparition de fissures. Mise en œuvre 'frais dans frais' dans le corps d'enduit, le type de trame choisi, généralement fibre de verre ou grillage galvanisé, devra être compatible avec l'enduit (compatibilité chimique mais également au niveau du coefficient de dilatation).
- ⑦ **Poteau d'angle.** Pièce de bois servant à solidariser les deux parties de façades.
- ⑧ **Vis ou tourillons de bois.** En plus des longueurs de liteaux pris dans le béton isolant, pour parfaire l'ancrage de ce remplissage à l'ossature, on pourra fixer sur ces liteaux des vis ou des tourillons de bois.
- ⑨ **Béton isolant.** Conglomérat léger généralement réalisé de végétal (paille, bois déchiqueté, chènevotte...) lié à la terre ou à la chaux, ce mélange, retenu coté intérieur par l'ossature sera mis en place après réalisation d'un coffrage coté extérieur.

Note :

Le remplissage isolant ici proposé en béton coulé pourra aisément être remplacé par un matériau en vrac type chènevotte, billes d'argile, liège, laine de cellulose... Dans ce cas, l'utilisation de Fibragglo sera nécessaire pour la réalisation d'un coffre (voir option retenue pour schéma page 49).

Exemple de gestion d'un angle non droit



Éch. : 1/5

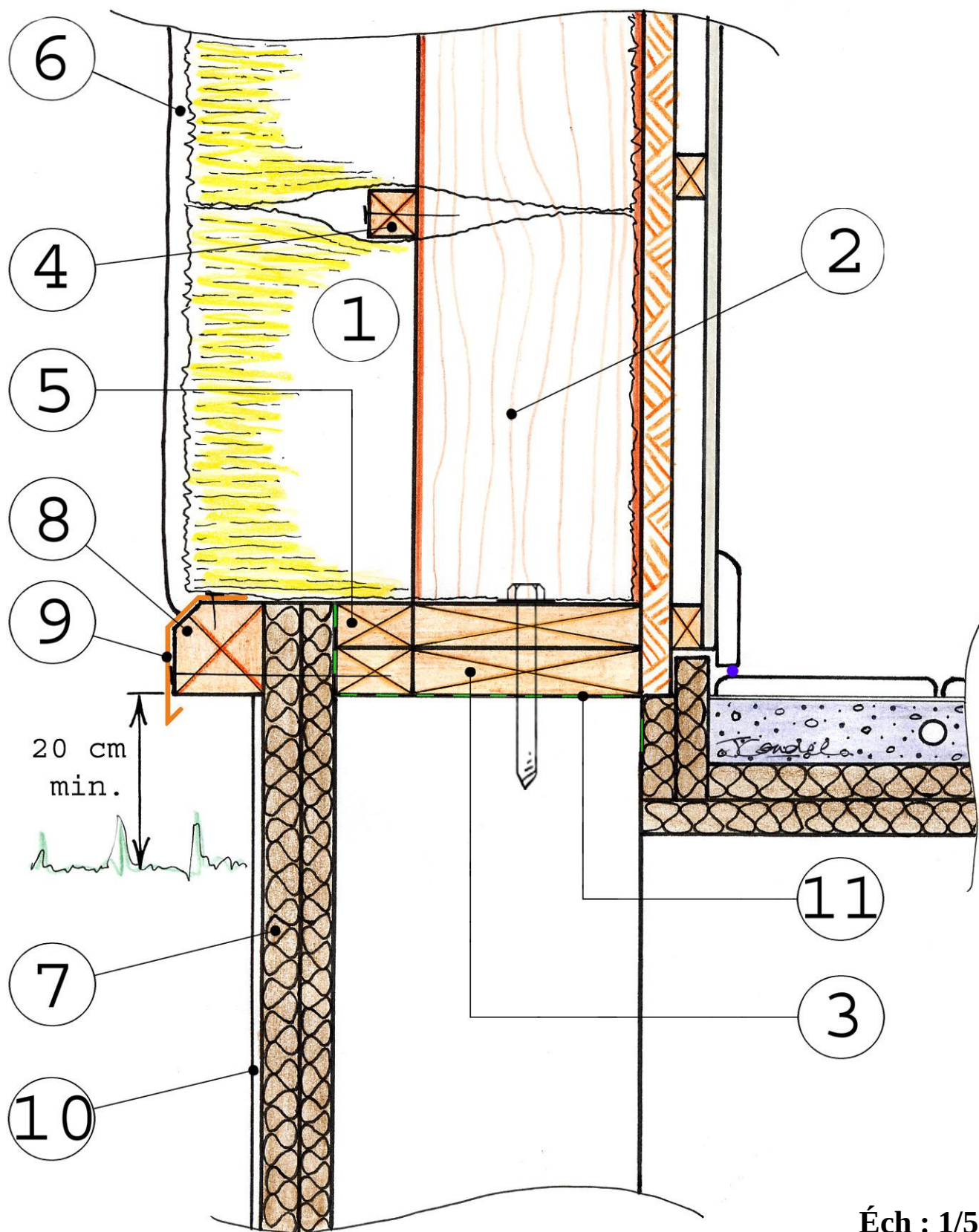
Détail fondation – pied de mur

- ① **Module de paille comprimée.** Sur le schéma la paille est posée ‘fibres horizontales’ mais une pose des bottes avec les fibres verticales est non seulement possible mais, à plusieurs égards, préférables.
- ② **Montant d’ossature.** Ils seront fixés sur la lisse basse à l’aide d’équerres métalliques spécialement vendues à cet effet. Le choix du type d’équerres et de pointes sera éclairé par les conseils d’un charpentier ou les abaques des marchands de fixations.
- ③ **Lisse basse.** La lisse basse est solidarisée au mur de soubassement à l’aide de fixations dont le type, la taille et la fréquence dépendront du bâtiment à supporter (voir charpentiers ou abaques chez les marchands de fixations).
Si l’embase laissée par le maçon est de qualité suffisante, on pourra, contrairement à l’option retenue sur ce schéma n’avoir en lisse basse qu’une seule épaisseur de bois (voir p 51).
- ④ **Liteaux.** Afin de monter des rangs réguliers et droits, on veillera à ce que les liteaux soient posés de niveau. Pour ce faire, on pourra, préalablement à la pose des bottes tracer des traits de niveau au cordeau traceur (CORDEX) sur les poteaux.
- ⑤ **Pièces de bois rapportées.** Ces pièces de bois, fixées sur le mur de soubassement et/ou sur la lisse basse servent de support pour la fixation de l’isolant comme de la pièce de bois supportant le profil ‘goutte d’eau’.
- ⑥ **Enduits.**
- ⑦ **Isolant périphérique.** Dans le cas d’un mur de soubassement non isolant comme ici avec des parpaings de ciment, certains professionnels appliquent coté extérieur un isolant afin d’éviter d’éventuels risques de condensation dans le bas des murs ‘bois-paille’.
- ⑧ **Pièce de bois rapportée (bois classe III).** Cette pièce de bois sert de support au profil ‘goutte d’eau’.
- ⑨ **Profil goutte d’eau. Profil goutte d’eau.** Cette protection réalisée en plastique ou dans un métal compatible avec le type d’enduit mise en œuvre (par exemple cuivre ou acier galvanisé mais pas aluminium pour des enduits à la chaux) permet de gérer l’étanchéité des bas de murs et le délicat passage du mur maçonné au mur ‘bois/paille’.
- ⑩ **Finition hydrofuge.** Finition en enduit armée ou posée sur panneaux, le travail de protection de l’isolant (ici du liège) devra être effectif (se prémunir d’éventuelles fissures, soigner le joint enduit/pièce de bois support goutte d’eau, ...). Dans les zones à termites, le choix sera plus fait d’avoir un soubassement pouvant se passer d’isolant (voir exemple page 51).
- ⑪ **Film anti-remontées capillaire.** Matériau bitumeux spécialement prévu à cet effet, cette ‘barrière’ devra être déroulée sur la totalité de l’interface entre mur de soubassement et mur ossature bois. Matériau gras et épais de plusieurs millimètres, l’étanchéité sera généralement faite autour des fixations par écrasement.

Notes :

- Les solutions possibles pour la réalisation des sols intérieurs sont nombreuses et ne dépendront pas du type de remplissage utilisé pour les murs. On veillera néanmoins à gérer avec attention les éventuels risques d’infiltration d’eau en bas de murs. Sur notre schéma, le joint entre carrelage et plinthe est réalisé par un matériau souple type mastic d’étanchéité.
- La hauteur à respecter entre le sol extérieur fini et les premières pièces de bois est imposé par les textes de référence régissant la construction bois, entre autre le DTU 31.2.

Détail fondation – pied de mur



Éch : 1/5

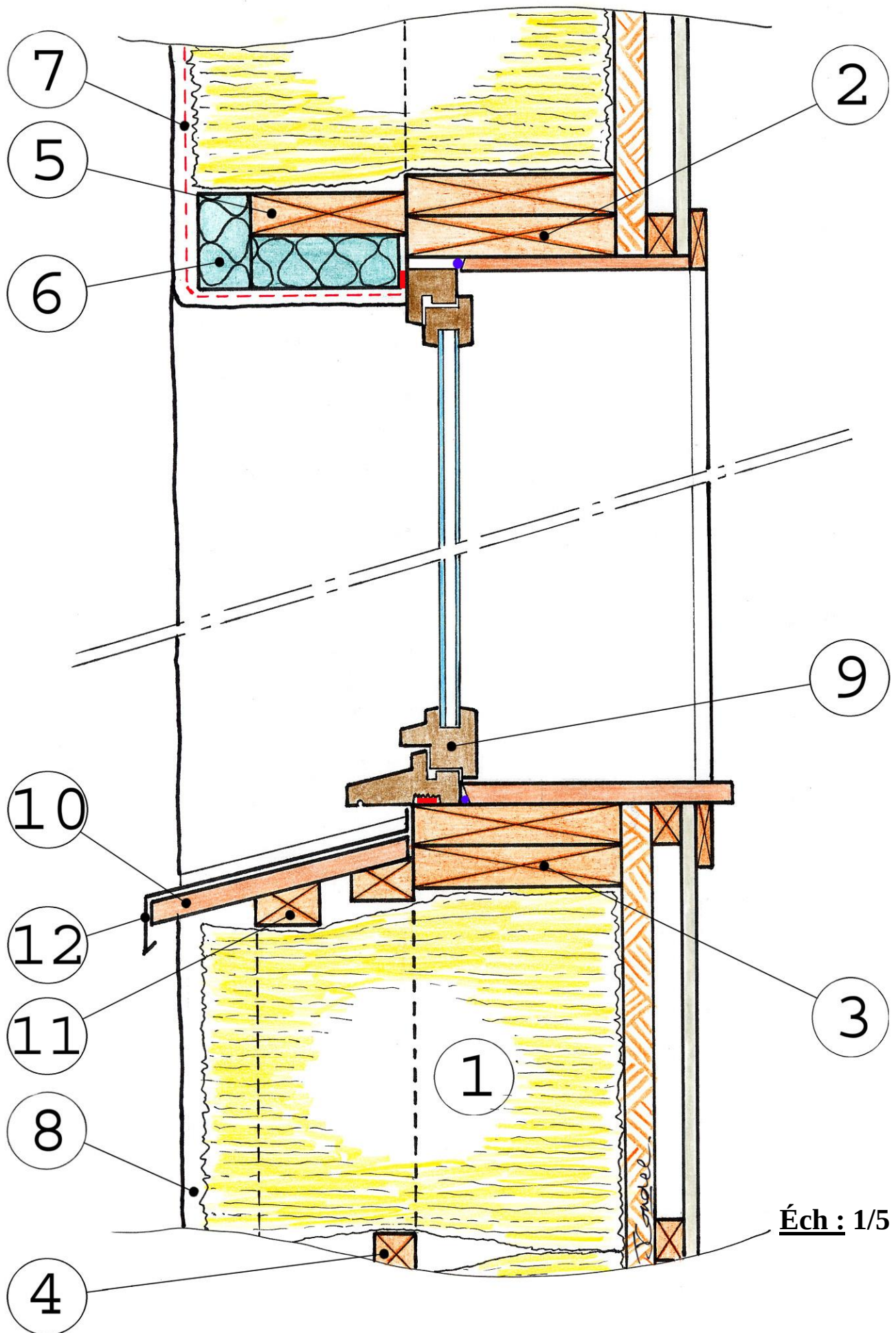
Implantation d'une fenêtre – Coupe verticale

- ① **Module de paille comprimée.**
- ② **'Linteau'.** Pièce de bois fixée entre les deux montants contigus à la baie (fenêtre, porte...) ce linteau sommaire deviendra un véritable coffre si la fenêtre est plus large qu'un espacement standard entre poteaux (voir schéma page 71).
- ③ **Pièce de bois 'support' baie et finition.** La pose de pièces de bois 'support' sera réalisée après pose de la botte inférieure. Cette botte de paille devra dans certains cas être retaillée pour s'ajuster à la hauteur du vide à combler.
- ④ **Liteaux.** Les pièces de bois doublant les poteaux (pointillés, voir également légende 4 dans le schéma page 55) devront être entaillées pour laisser 'filer' les liteaux.
- ⑤ **Pièces de bois support habillage linteau.** Cette pièce de bois, fixée au linteau et posant de part et d'autre de la baie sur les pièces de bois 'support' entourage baie permet la fixation du fibragglo d'habillage extérieur du linteau.
- ⑥ **Fibragglo.** L'épaisseur du fibragglo sera choisie en fonction des épaisseurs finales à rattraper (5 cm sur le schéma).
- ⑦ **Trame d'armature d'enduit.**
- ⑧ **Enduits.** Les enduits sont généralement des enduits traditionnels à la chaux. Leur perméabilité à la vapeur d'eau devra être 3 fois supérieure à celle du parement intérieur.
- ⑨ **Fenêtre.**
- ⑩ **Panneau tablette extérieure.** Panneau de bois de qualité extérieur, il sera vissé aux différentes pièces support et recevra l'étanchéité finale.
- ⑪ **Pièce de bois support tablette extérieure.** Ces différentes pièces de bois sont fixées de sur les poteaux ou pièces de bois support entourage baie.
- ⑫ **Feuille d'étanchéité.** Plaque métallique servant à protéger la tablette de fenêtre, cette protection sera réalisée dans un matériau compatible avec le type d'enduit mis en œuvre (par exemple cuivre ou galva mais pas aluminium pour des enduits à la chaux). Avec un profil goutte d'eau sur le bas et des remontées sur les trois autres cotés, une pose collée permettra d'assurer une étanchéité parfaite.

Note :

- L'option prise pour le schéma ci-contre a été celle d'une fenêtre posée en milieu de mur, solution majoritaire en France. Avec une fenêtre décentrée coté intérieur ou coté extérieur comme avec une double fenêtre, les principes de gestion des entourages de fenêtres sont similaires.
- La solution proposée ici pour la gestion de la tablette reste dans les habitudes de travail des professionnels de l'ossature bois. Certains préféreront utiliser soit des pièces d'appui en béton ou en terre cuite, ou remplacer la feuille d'étanchéité par la pose de carreaux de carrelage ingélifs. Dans le cas de ce type de solutions 'maçonnées', il faudra, afin d'éviter tout risque de fissures, gérer avec attention l'interface entre l'ossature et son remplissage d'une part et les pièces maçonnées d'autre part.
- Pour une porte ou une porte fenêtre, les seuils seront gérés dans les murs 'bois-paille' de façon similaire aux autres maisons ossature bois.
- L'intégration de coffres de volets roulants est non seulement possible mais relativement aisée. Elle se fera généralement entre la fenêtre et le linteau, l'habillage du linteau venant alors recouvrir l'ensemble 'linteau + coffre'.

Implantation d'une fenêtre – Coupe verticale



Éch : 1/5

Implantation d'une fenêtre – Coupe horizontale

- ① **Module de paille comprimée.** Sur le schéma la paille est posée 'fibres horizontales' mais une pose des bottes avec les fibres verticales est non seulement possible mais, à plusieurs égards, préférables.
- ② **Montant d'ossature.** Dans le cas d'une baie vitrée d'une largeur supérieure à l'écartement standard entre poteaux, les poteaux contigus à la baie sont généralement doublés. De plus, afin de transmettre les charges verticales, le linteau est généralement renforcé. Il pourra se résumer alors à un coffre ouvert. (Voir schéma de principe ci contre).
- ③ **Liteaux.** Clouer un liteau en bout génère souvent l'éclatement de celui ci sauf à travailler avec un cloueur et des pointes fines et souples. Dans les autres cas, un pré-perçage du liteau sera nécessaire.
- ④ **Pièces bois 'support' entourage de baie.** Pièces de bois fixées de part et d'autre des poteaux contigus à la baie, elles serviront de support à l'habillage des joues, des pièces d'appui des fenêtres et du linteau mais également de base pour la fixation de volets battants. Elles seront échancrées à chaque passage de liteaux pour permettre leur continuité et leur fixation.
- ⑤ **Fibragglo.** L'épaisseur du Fibragglo sera choisie en fonction des épaisseurs finales à rattraper (5 cm sur le schéma ci-contre).
- ⑥ **Trame d'armature d'enduit.** Cette armature couvrant l'ensemble des surfaces enduites permet de s'affranchir de l'apparition de fissures. Mise en œuvre 'frais dans frais' dans le corps d'enduit, le type de trame choisi, généralement fibre de verre ou grillage galvanisé, devra être compatible avec l'enduit (compatibilité chimique mais également au niveau du coefficient de dilatation).
- ⑦ **Enduit.** Les enduits sont généralement des enduits traditionnels à la chaux. Leur perméabilité à la vapeur d'eau devra être 3 fois supérieure à celle du parement intérieur.
- ⑧ **Fenêtre.** Avec les vitrages performants actuels, la faiblesse des baies provient désormais principalement d'une mauvaise étanchéité à l'air de la jonction qu'elles ont avec les murs. Ici, des joints compréssion (rouge) et silicone (bleu) assurent cette fonction.

Note :

- L'option prise pour le schéma ci-contre a été de celle d'une fenêtre posée au milieu de l'épaisseur du mur, solution courante en France. Les principes de gestion de l'entourage des baies présentés ici seront néanmoins quasi similaires avec une fenêtre décentrée, voir une double fenêtre.
- L'option de montage du cadre intérieur proposé dans le schéma permettra par ailleurs de changer la fenêtre sans avoir à endommager les enduits intérieurs ou extérieurs.
- Le schéma de la page ci-contre comme celui de la page précédente présente une solution de finition intérieure de type plaque de plâtre ou frisette. Dans le cas où le voile contreventant est en panneaux dont l'esthétique le permet ('trois plis', FERMACELL®, ...), il pourra faire office de parement final.
- Si le voile contreventant sert de parement final, porter une attention particulière à l'étanchéité à l'air. Ce entre au droit de l'installation électrique et autres boîtiers encastrés. De plus, la protection de la paille au feu devrait dans ces cas être étudiée également de près.

Implantation d'une fenêtre – Coupe horizontale

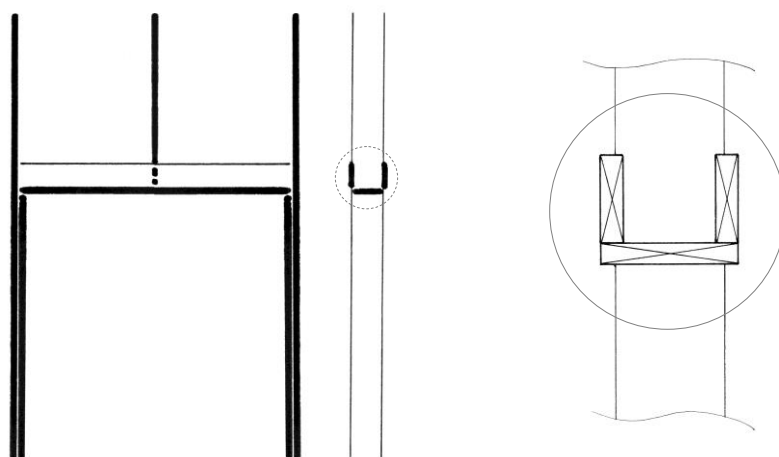
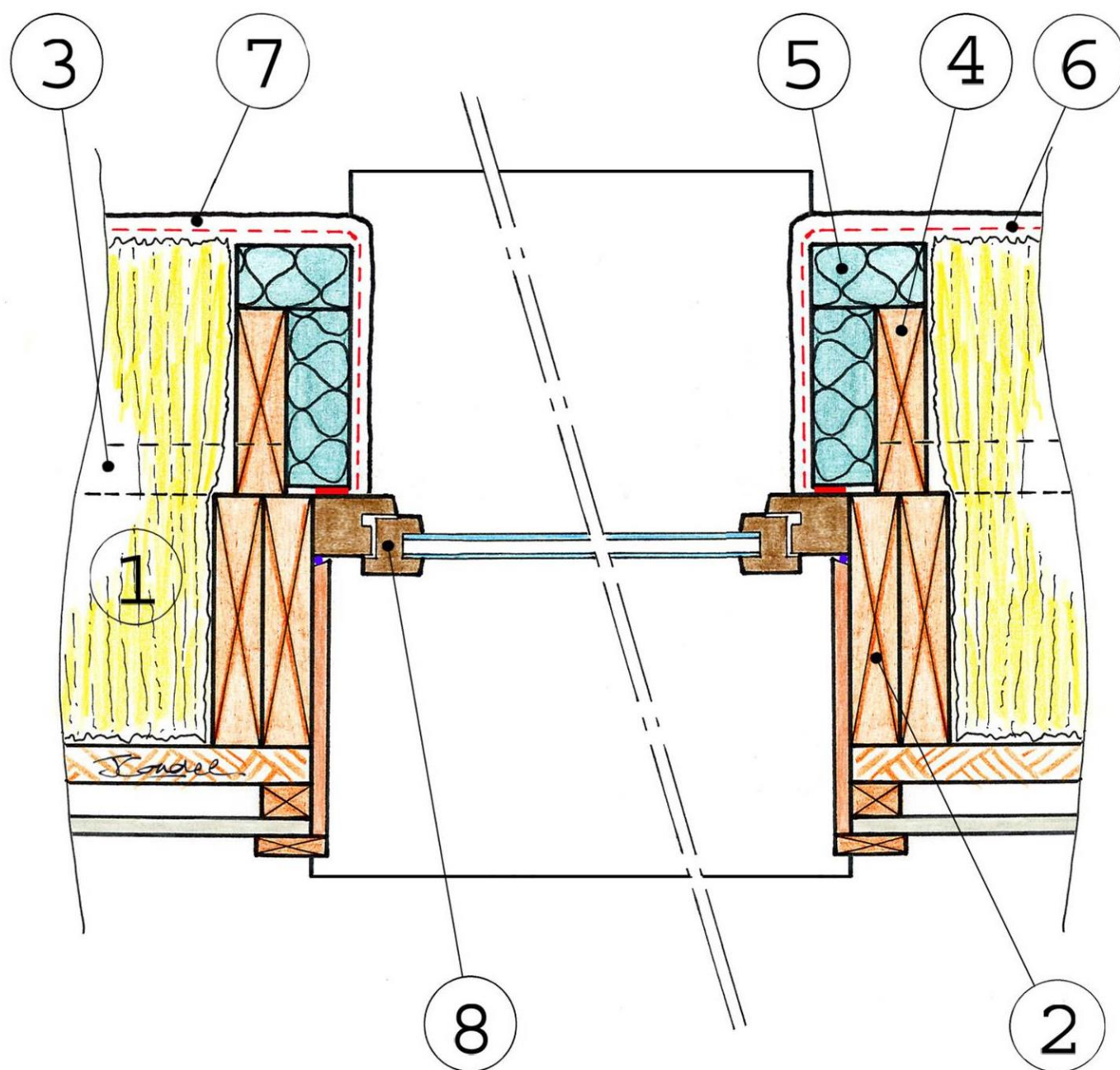
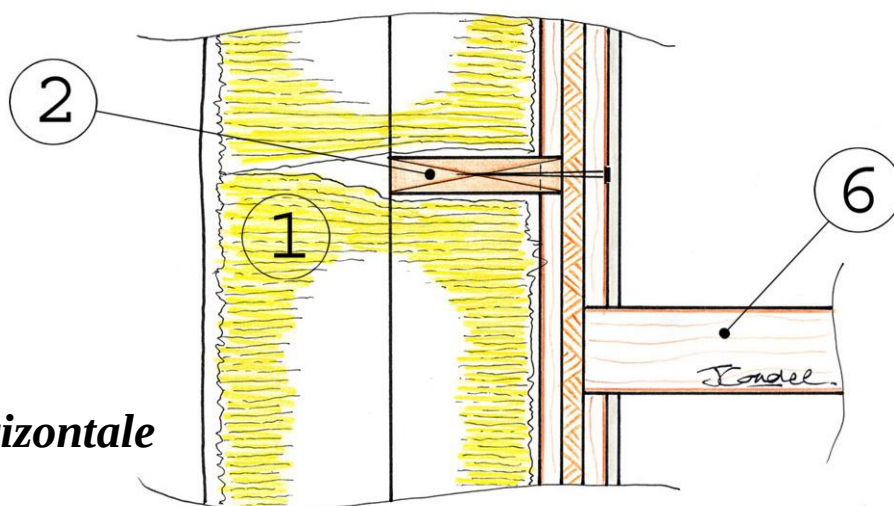


Schéma de principe de l'ossature pour une baie large

Éch : 1/5

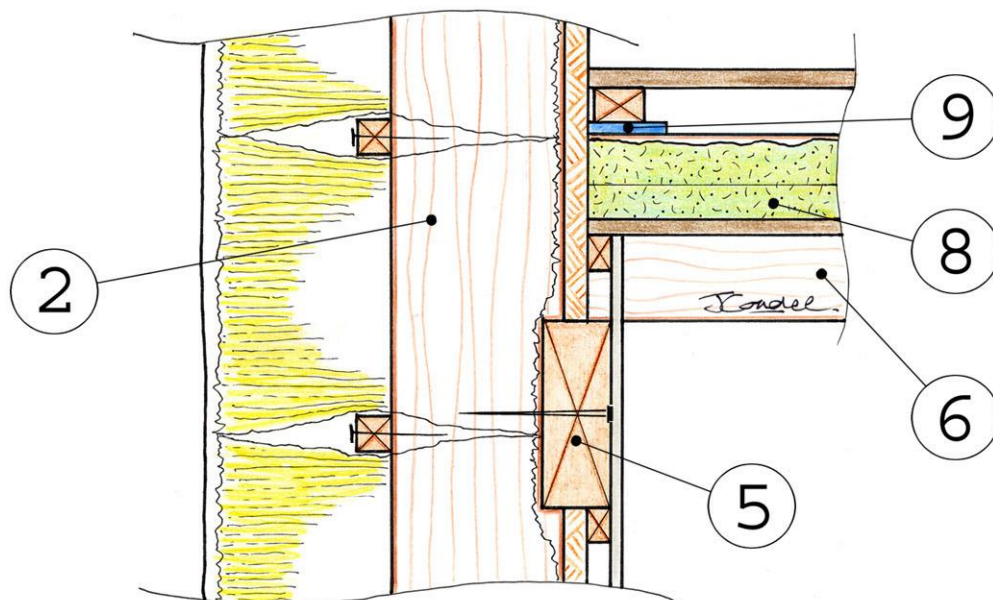
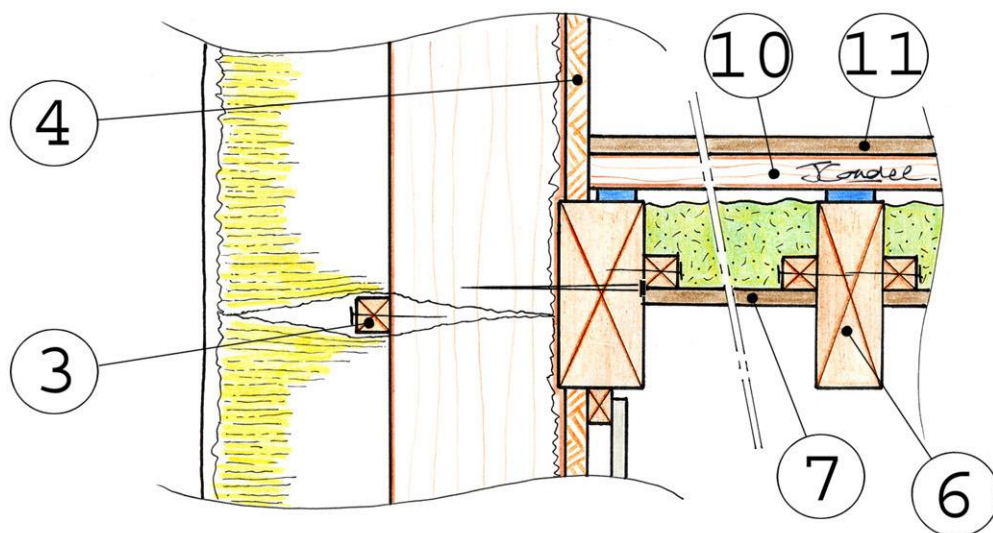
Détail plancher intermédiaire

- ① **Module de paille comprimée.**
- ② **Poteau.**
- ③ **Liteaux.**
- ④ **Voile contreventant.**
- ⑤ **Poutre support solive.** Cette pièce de bois, fixée aux poteaux sert également de lierne : avec les solives ancrées dans les murs perpendiculaires, elle permet de ‘ceinturer’ le bâtiment.
- ⑥ **Solives.** Reprises en extrémité sur les poutres fixées au mur (5), les solives auront besoins d’appuis intermédiaires entre les deux façades de la maison. Ces derniers seront matérialisés par des poutres, des poteaux ou des murs de refend.
- ⑦ **Plafonds.** En bois, plaques de plâtres, ...Il pourra être suspendu sous le solivage ou permettre la réalisation d’un plafond avec solives apparentes (voir croquis).
- ⑧ **Mélange isolant.** Simple isolant thermique déposé en vrac ou complexe lourd permettant un isolement acoustique et une inertie thermique, l’espace entre plafond et planchers sera utilisé en fonction des performances thermiques et phoniques qui lui seront demandées.
- ⑨ **Semelle phonique.** Rupteur phonique permettant de limiter la transmission des bruits d’impact
- ⑩ **Lambourde.** Afin de ne pas transmettre les bruits solidiens, la solution présentée sur ce schéma montre un ensemble ‘lambourdes + planchers’ flottant (non fixé aux solives).
- ⑪ **Plancher.**



Coupe horizontale

Détail plancher



Coupes verticales (parallèle ou perpendiculaire aux solives)

Éch : 1/10

Détail haut de murs - toiture arbalétriers

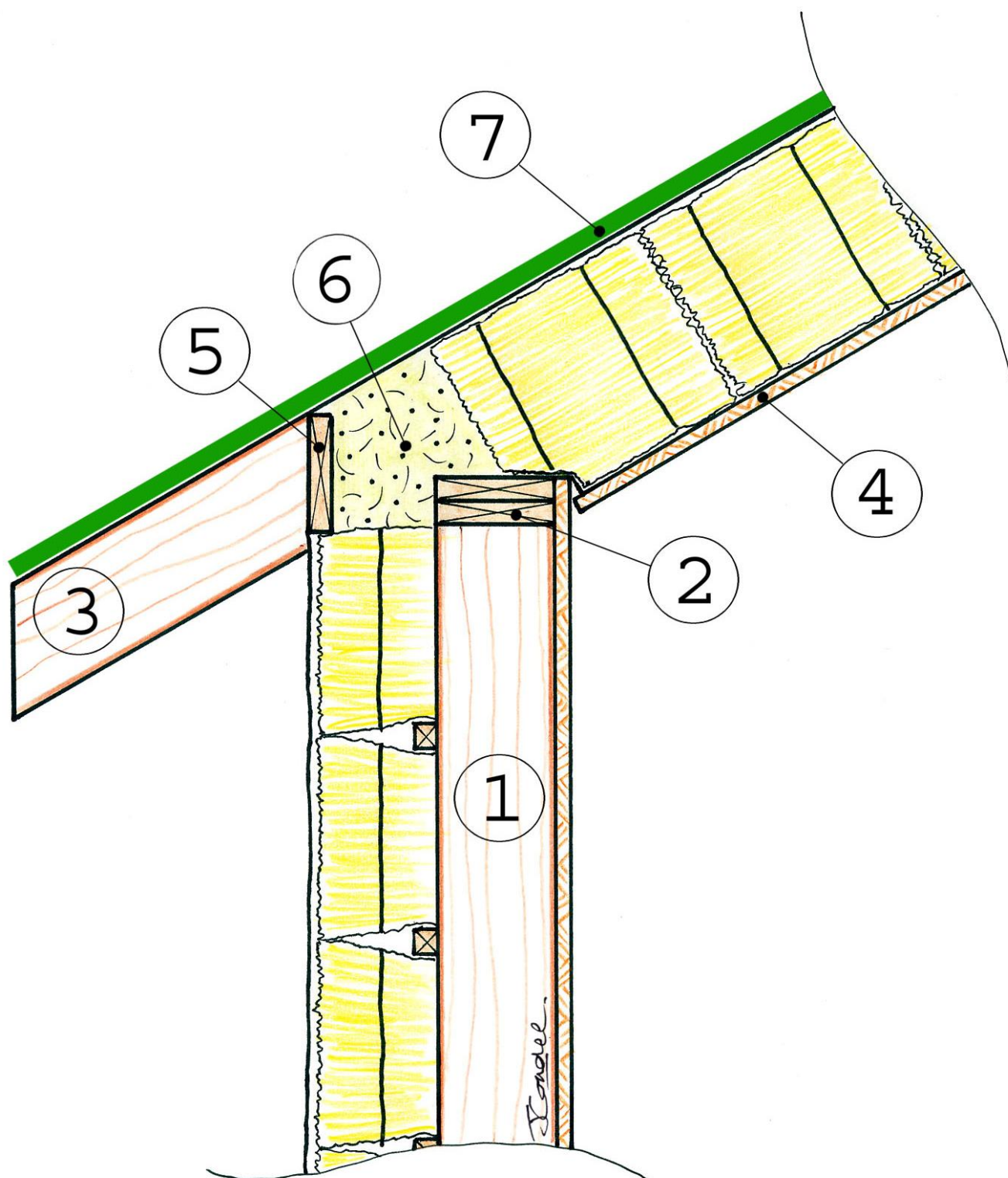
(ou chevrons rampants)

- ① **Montant d'ossature.** Usuellement, pour un bâtiment type 'maison individuelle' de 1 à 2 niveaux, la section utilisée pour les poteaux courants sera d'environ 4 x 20 cm si l'espacement entre poteaux correspond à une longueur de botte (entre 80 à 100 cm).
- ② **Panne sablière.** La lisse haute des murs fait office de panne sablière dans le sens où elle reçoit les arbalétriers.
- ③ **Arbalétrier (ou chevron rampant).** La toiture des maisons 'bois-paille' étant souvent isolée de paille, les arbalétriers auront alors une hauteur correspondant à l'épaisseur d'une botte de paille. De fait, pour avoir des pièces de bois d'environ 35 à 40 cm de hauteur, on préférera à une pièce de bois massif deux pièces de bois agrafées entre elles (par goussets bois ou agrafes métalliques), une poutre treillis ou une poutre en I.
- ④ **Voile contreventant.** Fixé aux arbalétriers, ce voile contreventant est usuellement réalisé de panneaux de bois type trois-plis, de panneaux OSB, de planches ajourées clouées à 45° ou de panneaux FERMACELL®. Il sert de fermeture inférieure des coffres de toitures, de support de plafond sous combles voir, dans le cas d'une utilisation de trois plis, de plafond à part entière.
- ⑤ **Pièce de bois rapportée.** Cette pièce de bois viendra parfaire l'étanchéité des coffres de toiture d'avec les murs enduits. Elle sert également de coffrage perdu pour le remplissage isolant venant terminer la jonction entre mur et toit.
- ⑥ **Remplissage isolant.** Réalisé en béton léger (bois/terre, terre/paille, chanvre/chaux, ...) ou en isolant vrac (lièges, laine de cellulose, chènevotte, ...).
- ⑦ **Panneaux de sous toiture.** Lorsqu'elle est réalisée en feutre de bois bitumé la sous-toiture qui ferme un coffre isolé de paille permet, en plus de protéger l'isolant, permettra de réaliser une étanchéité à l'air et d'empêcher l'intrusion d'insectes. Attention tout de même, sa perméabilité à la vapeur d'eau devra être 3 fois plus importante que celle du parement intérieur.

Note :

L'entraxe entre arbalétriers étant souvent trop important dans le cas d'utilisation de panneaux de bois peu épais ou de plaques FERMACELL® pour la réalisation du voile contreventant, on devra souvent poser des lambourdes sous les pièces de charpente avant de poser le voile contreventant.

Détail haut de murs - toiture arbalétriers (ou chevrons rampants)

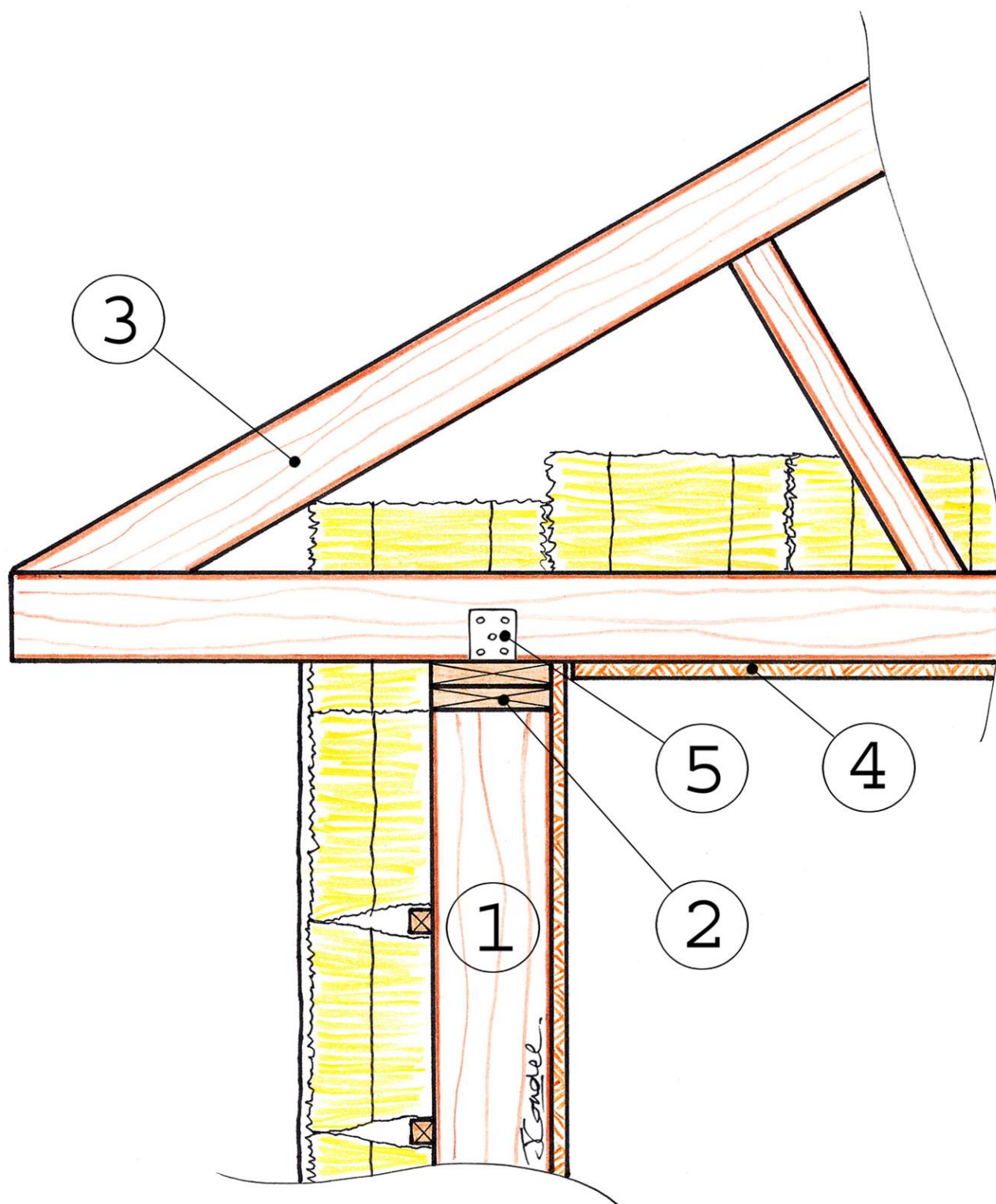


Éch : 1/10

Détail haut de murs - toiture en fermettes non aménageables

- ① **Montant d'ossature.**
- ② **Panne sablière.** La lisse haute des murs fait office de panne sablière dans le sens où elle reçoit les arbalétriers.
- ③ **Fermettes.** La pose de fermettes industrialisées permet de réaliser de réelles économies. De plus, le fait d'avoir des combles non aménagés permet d'avoir un espace tampon entre espace de vie et extérieur. Cet espace est un gage pour une performance thermique améliorée du bâtiment, pour l'hiver comme pour l'été.
- ④ **Plafond.** Le contreventement des fermettes étant généralement réalisé grâce à des feuillards métalliques ou des planches fixées à 45°, le plafond ne contribue généralement pas dans ce cas à la stabilité du bâtiment.
- ⑤ **Équerres de fixation.** Les fermettes seront fixées sur la panne sablière à l'aide d'équerres métalliques. Le choix du type d'équerres et des pointes à utiliser sera fait suite aux conseils d'un charpentier, d'un ingénieur bois ou d'un négociant spécialisé (selon les abaques accompagnant les documentations techniques de ce type de connecteurs).

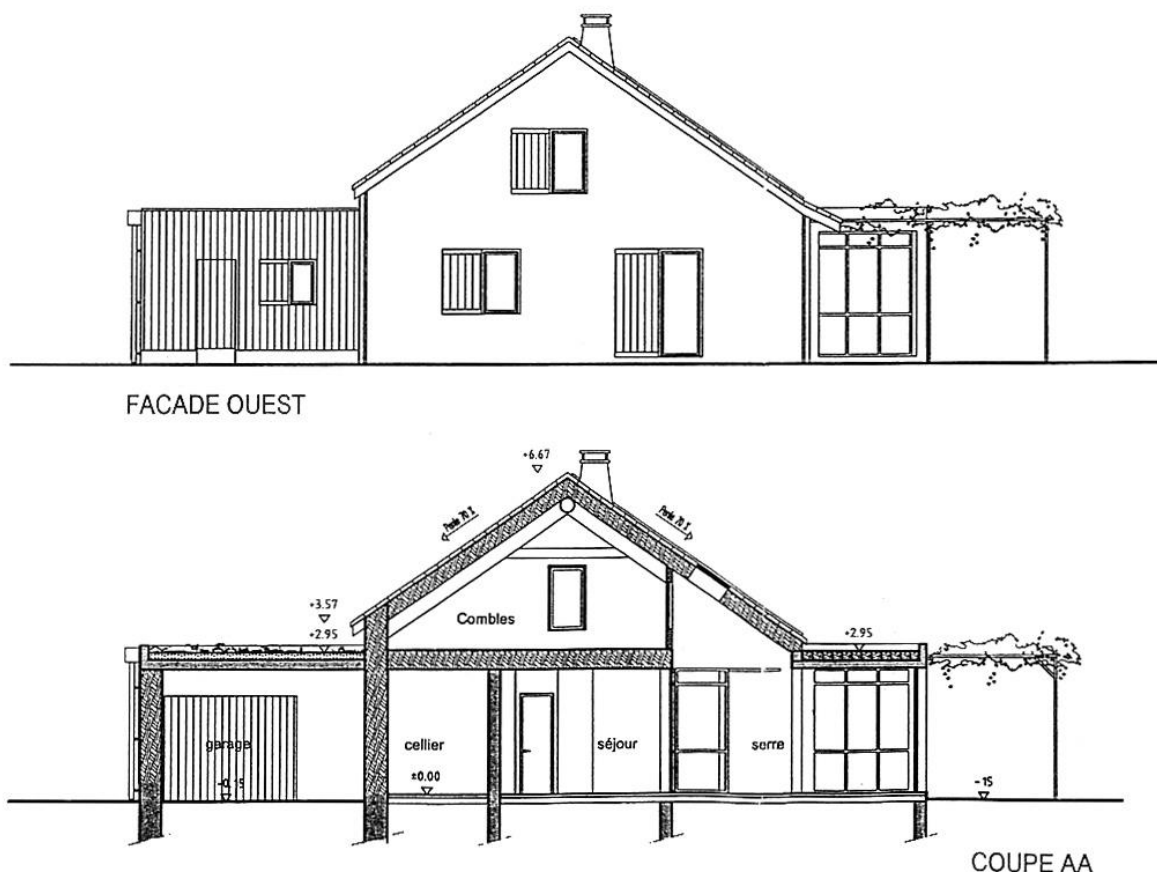
Détail haut de murs - toiture en fermettes non aménageables



Éch : 1/10

Reportage photo – Chantier Renaudin Été 2005

Claude Renaudin, non lassé par le suivi technique du projet expérimental de Montholier qu'il a assumé en tant que premier adjoint de la commune a souhaité 'remettre cela' avec sa propre maison. Merci pour ce beau chantier et pour le reportage photographique.



Présentation :

La construction de la maison de Claude Renaudin se base sur des principes bioclimatiques simples :

- volume compact, avec sur le nord un espace tampon accolé
- sa façade sud est longue la plus longue au sud, et très ouverte au soleil
- intérieur organisé en fonction de la course du soleil
- façade sud est très ouverte avec trois types de captage solaire, ce qui permet de profiter pleinement des calories gratuites du rayonnement solaire tout en limitant les risques de surchauffe (simples baies vitrées, serre solaire et murs capteurs).

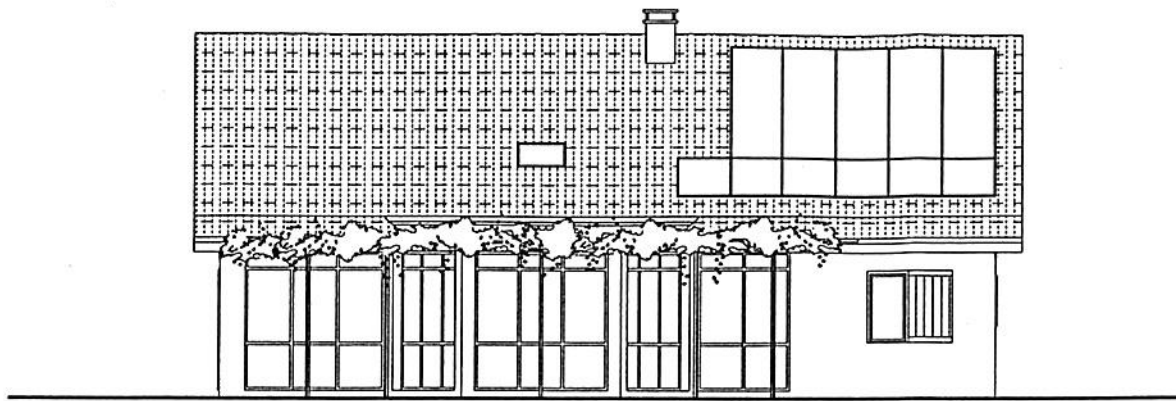
Les parois ont été conçues pour :

- limiter leurs surfaces en contact avec l'extérieur
- gérer la majorité de la façade sud en matériaux lourds (béton, terre cuite et terre crue) afin de capter et stoker
- isoler thermiquement le sol de la maison de la terre mais en gardant néanmoins la dalle du côté haut de l'isolant afin d'augmenter l'inertie du bâtiment
- réaliser l'ensemble des autres parois en ossature bois et remplissage en bottes de paille. Qui plus est, la pose a été faite 'fibres verticales' c'est-à-dire perpendiculaires au flux thermique ce qui donne une valeur U d'environ $0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$ ou encore une résistance thermique (R) d'environ $7.50 \text{ m}^2\text{K/W}$.

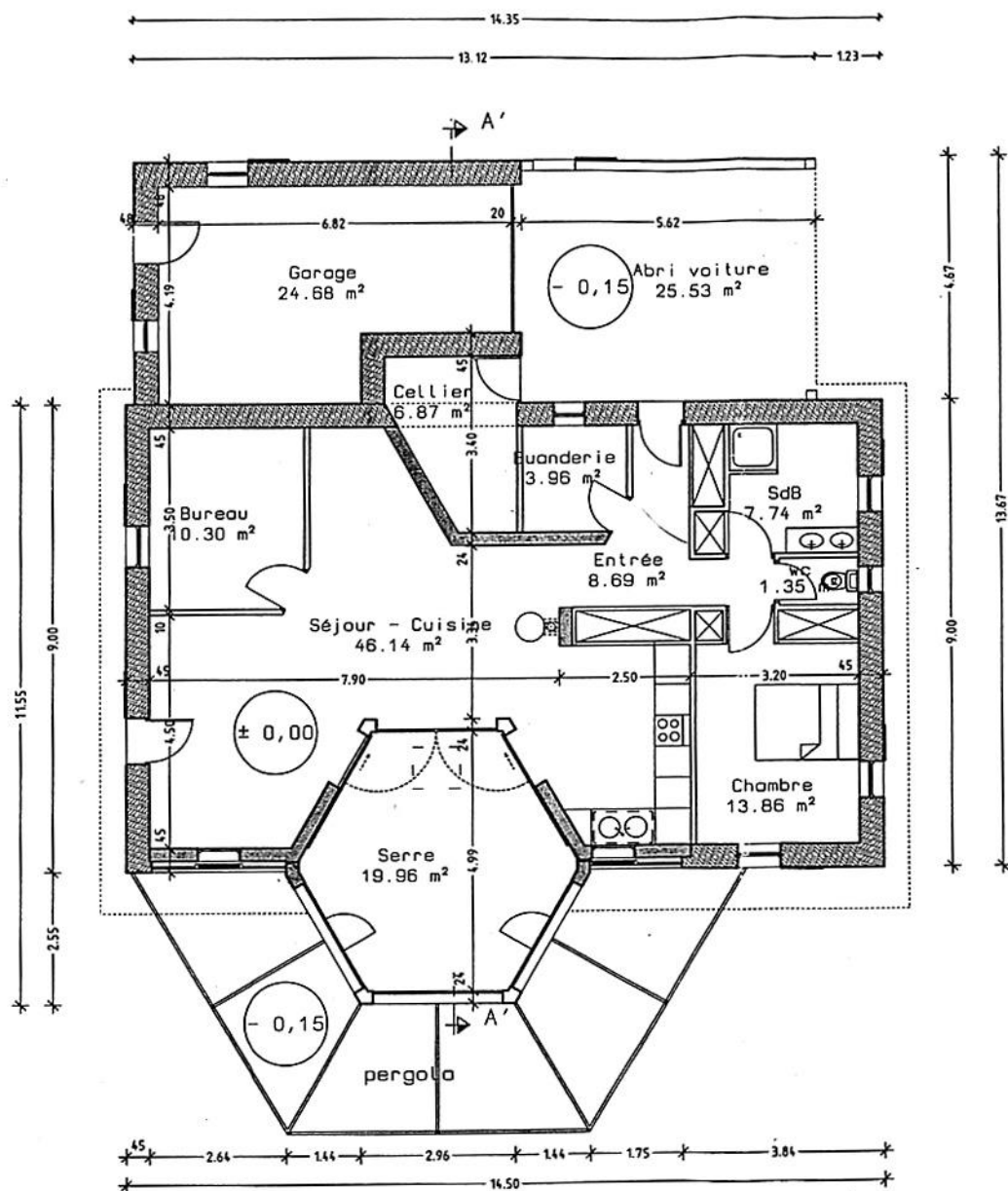
Cette maison, de budget classique, a été conçue par une équipe de professionnels : Olivier Tessier, Jean-Pierre Oliva, et de la SCOP Habiter : Alexandre Hamm et Nicolas Dufourg.

Les détails techniques ont été dessinés par le charpentier (Gilles Morel), Claude Renaudin et Samuel Courgey (Arcanne).

La pose de la paille et les enduits ont été réalisés par Claude Renaudin accompagnés d'amis.



FACADE SUD





*Le terrassement est terminé,
les fondations viennent d'être coulées*



*Isolation du mur de soubassement et pose du drain
pour ventilation du hérissage*



*Gros plan sur les réseaux
(eau, électricité, télécom et évacuation)*



*Gros plan sur l'isolation extérieure du mur
de soubassement (en panneaux de liège)*



Hérissage terminé



*Isolation en panneaux de liège
entre hérissage et dalle*



*Réalisation des murs capteurs (1^{er} plan)
et des refends qui auront entre autre
pour objectif de stoker les calories*



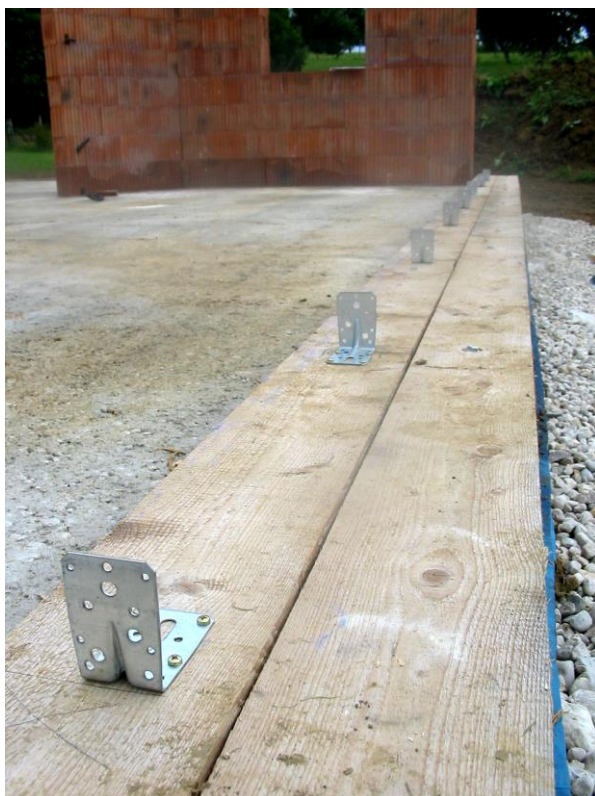
*Les murs masse sont remplis de terre
pour apporter de l'inertie et aussi,
pour les murs capteurs, un déphasage*



Gros plan sur équerre de fixation



Pose des montants de l'ossature bois et de la poutre filante. Cette dernière sert de lierne (ceinture du bâtiment) et reprendra, à terme, le solivage.



Gros plan sur lisse basse et équerres de fixation en attente du montage des poteaux



Insertion d'une fenêtre dans le mur



Façade nord : contreventement avec planches obliques clouées sur la face intérieure des poteaux



Pose des solives sur poutre filante



Fabrication des fermettes à l'aide de goussets bois vissés



Pose des fermettes en toiture



Gousset en OSB en pied de fermette



Fixation des fermettes par équerres métalliques



Tête de pignon avec débord de toiture réalisé avec des 'fausses pannes'



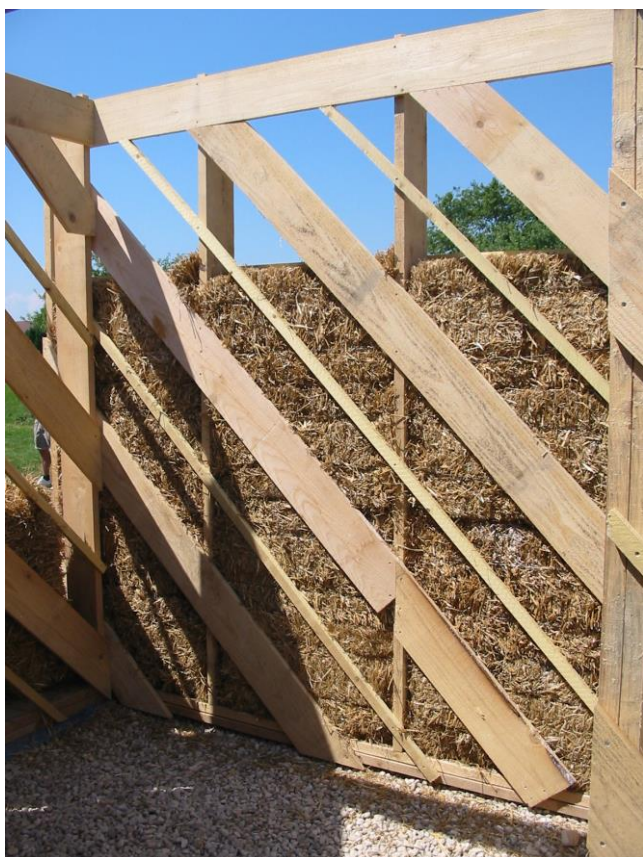
Pose des chevrons sur débord de toiture



Vue de l'ossature bois du corps d'habitation



Mur 'bois-paille' en cours de montage



En repère de pose, les ballots (fibres verticales) sont plaqués contre le contreventement intérieur



Des entailles sont réalisées dans les pièces support encadrement de fenêtres pour recevoir les liteaux



Entre deux séances d'ordinateur, Jeremy Coudel est sur le chantier. Bourrage de paille dans les trous.

Le propriétaire (Claude Renaudin) pose l'appareil photo pour entailler une botte à la disqueuse





Pose des bottes de paille 'en force' pour l'isolation de toiture

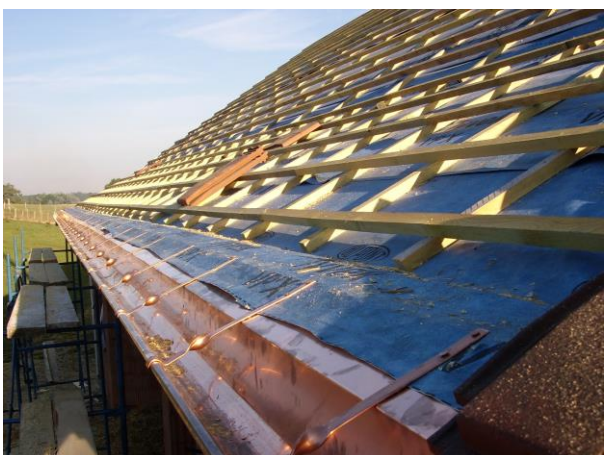
La finition des pignons sera réalisée par coffres en fibrage remplis de 'galettes' de paille (tranches de bottes).



Vue de l'isolation toiture avant fermeture



La paille est couverte d'un pare-pluie fixé aux fermettes



Chenaux en cuivre, film de sous toiture, contrelattes et lattes



Vue façade nord toiture terminée



Insertion des boîtiers et gaines électriques



Gestion des entourages de baies en panneaux fibragglo



Base de Façade prête à enduire (mur égalisé, fibragglo posé)



Fixation de panneaux fibragglo en interface bois/enduits



Profil en cuivre, pour la goutte d'eau du pied de mur



*Réalisation de la première couche de l'enduit
(appelée également gobetis ou couche d'accrochage)*



Application du cops d'enduit



Réalisation de la couche d'accrochage



*Humidification du support avant application de la
deuxième couche (ou corps d'enduit)*



Gros plan sur angle haut de mur



Angle, réalisation du corps d'enduit

Pose de la trame en fibre de verre



Gros plan sur la trame noyée dans la 2ème couche



Lors de la progression de la 2ème couche d'enduit, on veille à bien superposer les différents morceaux de trame



Façade Est : corps d'enduit et toiture terminée



*Vue sur le joint compribande pris entre fenêtre et mur.
Fixation du dormant d'une fenêtre.*



*Une tablette bois vient sous les fenêtres.
Elle est ensuite encollée pour recevoir l'étanchéité*



Le complexe d'étanchéité, en cuivre, est posé



*Gros plan sur l'étanchéité d'une tablette de fenêtre
(Remontée sous fenêtre, gestion des bas de jambages,
'goutte d'eau' en façade,...)*



*Gros plan sur tablette intérieure et
entourage de baie*

Vue intérieure d'une porte fenêtre posée



Pose de l'ossature bois du garage-atelier



Pose pare pluie, contre lattage et lattage



L'espace atelier est également isolé en bottes de paille. Les poteaux sont élargis pour aller de part en part afin de servir de support pour le bardage (extérieur) et les parements intérieurs



Réalisation des doublages intérieurs en plaques de plâtres de type Fermacell®



Vue générale de la maison d'habitation et du volume garage-atelier terminé
Détail de la porte ouest de l'atelier et du bardage posé



Les cloisons du rez-de-chaussée sont réalisées en brique de terre cuite, puis enduites de plâtre.



Un coffre rempli de laine de roche permet de réaliser la traversée toiture du conduit de cheminée.

Vue d'un parement terminé et de l'entourage inférieur des fenêtres



Hiver 2005/2006 : les finitions intérieures sont en cours.



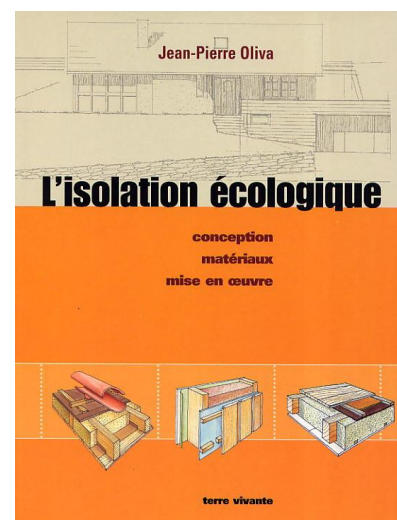
Un coffre rempli de laine de roche permet de réaliser la traversée toiture du conduit de cheminée.

Partie III :
Pour aller plus loin

Livres France

‘L’isolation écologique’, par Jean-Pierre Oliva ; éditions Terre Vivante, 2001.

Un livre de référence pour comprendre l’isolation et connaître les principales alternatives aux solutions constructives conventionnelles



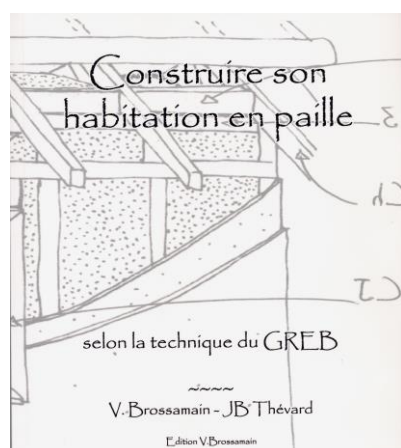
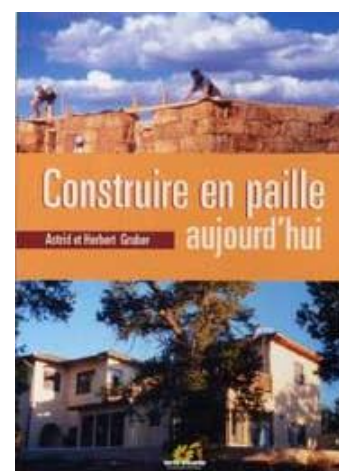
‘Bâtir en paille’, par André de Bouter ; Association La maison en paille, 2004.

Guide pratique de la construction en bottes de paille, les enduits en terre & chaux.

Ce livre comprend différentes techniques de construction en bottes de paille, ainsi qu'une description de la fabrication et l'application d'enduits en terre ou à la chaux. C'est un outil pratique sur votre chantier en paille et terre. Il contient de nombreux croquis, recettes, ainsi que des fiches pour réaliser vos tests avec votre terre locale.

‘Construire en Paille Aujourd’hui’, par Astrid et Herbert Gruber ; éditions Terre Vivante, 2003.

N'en déplaise aux trois petits cochons, la paille est de plus en plus utilisée en éco-construction. Ce livre nous révèle la richesse de ce matériau écologique, remarquablement isolant et peu coûteux. Il fait le tour de ses nombreuses utilisations et des différentes manières de le mettre en oeuvre, le plus souvent associé au bois ou à la terre. On y découvre également de nombreux exemples de réalisations - souvent étonnantes - à travers le monde.

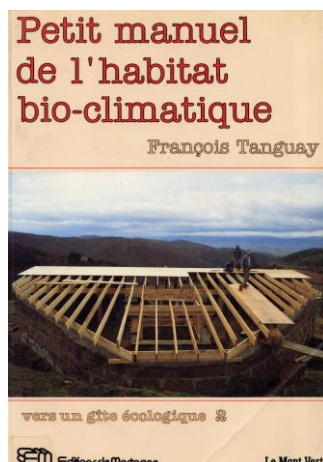
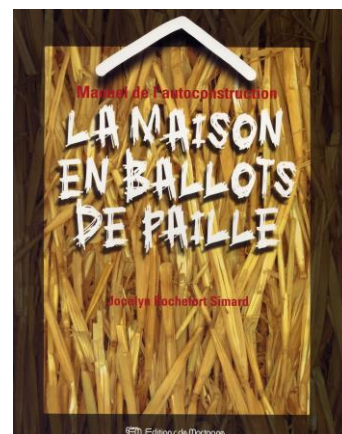


‘Construire son habitation en paille’, par V. Brossamain et J-B. Thévard, éditions V.Brossamain, 2005

Les retours sur ce livre sont très divers selon les attentes. Si le lecteur souhaite un document de référence pour se lancer sur un projet de construction, l’achat de cet ouvrage ne sera pas conseillé. Par contre, s’il approche ce livre comme une expérience supplémentaire, d’acteurs de terrain ‘tomber en amour’ d’une technique québécoise, il pourra être vu comme un témoignage intéressant.

‘La maison en ballots de paille’,
par Jocelyn Rochefort Simard ; éditions de la Mortagne, 2002.

Ecrit par des auto-constructeurs qui ont, à priori, eu la ‘révélation’ en construisant en paille, cet ouvrage est à déconseiller. Les principales raisons sont qu’il fait croire que construire est un jeu d’enfants et qu’il fourmille d’astuces souvent incompatibles avec une quelconque approche de bâtiment réellement confortable et durable.

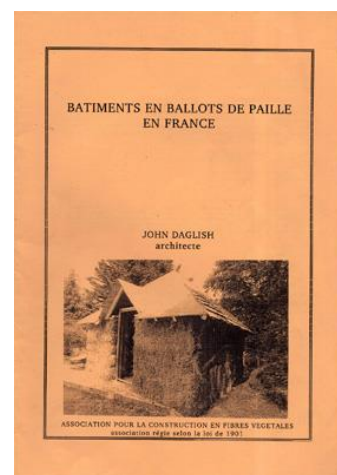


‘Petit manuel de l’habitat bioclimatique’,
par François Tanguay; éditions de la Mortagne, 1988.

François Tanguay, qui a apporté la technique paille en France au début des années 80 avait qu’il était meilleur communicateur que constructeur, ... et il avait raison. On conseillera le présent ouvrage ou le ‘Petit manuel de l’auto-construction’ qui l’a précédé si le but est d’avoir dans sa bibliothèque un souvenir de ce qui s’est dit et fait au début des années 80. Par contre, malgré un style agréable et une série de bons sens, on les déconseillera si le but est de s’en servir comme seule référence pour construire sa maison.

‘Bâtiments en ballots de paille en France’,
par John Daglish ; association pour la construction en fibres végétales, 2001.

L’ACFV a milité durant quelques années mais, par manque de disponibilité de ses membres, elle n’a pas résistée au changement de millénaire. En attendant qu’une nouvelle structure se crée en France pour rassembler les individus et les compétences motivés par le sujet, on gardera des activités de l’ACFV : quelques week-ends festifs, le fait d’avoir retrouvé la maison Feuillette, les articles de ‘La première paille’ et ce document qui recense la plupart des premières constructions françaises utilisant la botte de paille. A commander à ‘bâtir sain’ (www.batirsain.fr.)



‘La maison écologique’,
bimestriel, BP 60145 14504 VIRE Cedex

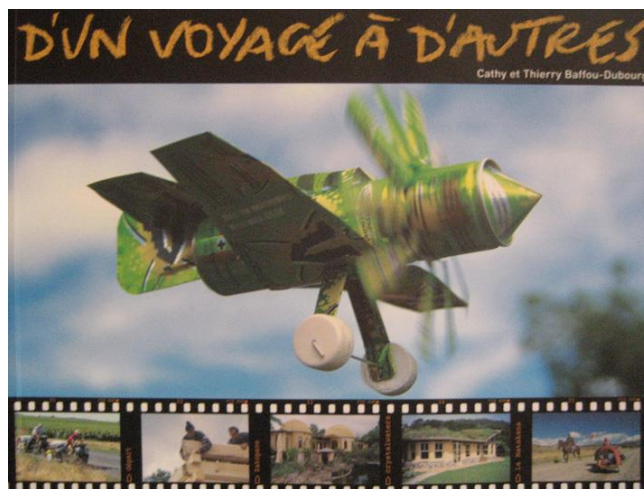
Abonnement incontournable pour avoir tout les deux mois des nouvelles de ce qui se fait au niveau de l’approche écologique dans le bâtiment. Matériaux, systèmes constructifs, énergies renouvelables, ... l’ensemble des sujets est abordé de manière pédagogique et dans un style très plaisant. Voir entre autre les deux dossiers sur la paille : ‘Construire en paille’ (n°4) et ‘La paille dans tous ses états’ (n°28).

‘D’un voyage à d’autres’,

Par Cathy et Thierry Baffou-Dubourg, éditions Goutte de Sable, 2005.

Ce livre raconte l’année que Cathy et Thierry Baffou-Dubourg ont passée avec leurs enfants à vélo, sur les routes du monde. On découvre leurs périples et leurs rencontres par un journal de bord et de nombreuses photos qui font rêver. Leur but était de découvrir les approches, en termes d’habitat écologique, sur les différents continents. Ce pour construire à leur tour une maison bioclimatique.

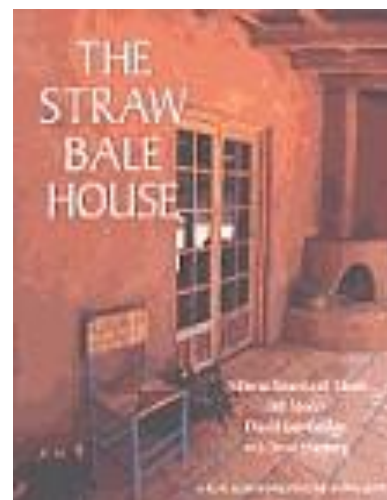
C’est la dernière partie développée dans leur livre, où l’on peut découvrir la réalisation de leur maison en ossature bois et isolation paille.



Livres Etats-Unis

‘The Straw Bale House’, par Athena Swentzell Steen, Bill Steen, David Bainbridge, avec David Eisenberg ; Real Goods Independent Living, Chelsea Green, 1994.
Traduction : ‘La Maison en Bottes de Paille’.

Sujet particulièrement développé. Une des deux ‘anciennes bibles’. Fait l’état des lieux de la construction en paille, en offrant des options de construction des fondations aux enduits de finition.



‘Serious Straw Bale: A Home Construction Guide for All Climates’,

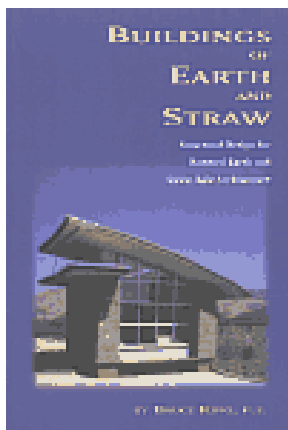
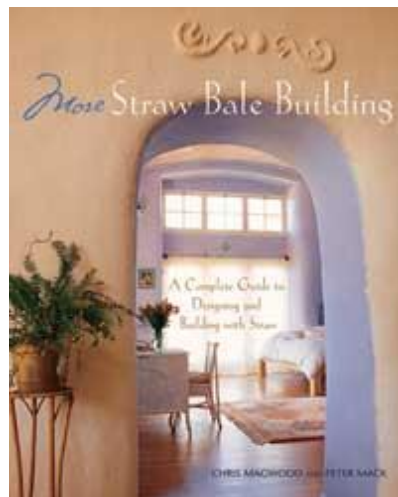
par Paul Lacinski et Michel Bergeron ; Chelsea Green, 2000.

Traduction : ‘La Botte de Paille Sérieuse’.

C’est un livre très complet. Il offre une approche très accessible du matériau paille. Ce livre ressource dépasse le stade du “comment” en allant jusqu’au ‘pourquoi’ de la construction en bottes de paille, avec leur expérience des climats froids, Lacinski et Bergeron proposent de bons conseils pour la construction par climat rigoureux.

‘More Straw Bale Building’, par Peter Mack,
Chris Magwood et Tina Therrien ;
New Society Publishers, 2005.

Les techniques relatives à la construction en paille ne cessent d’évoluer, par le partage et les chantiers. Depuis ‘Serious Straw Bale’, les changements ont été nombreux. Ce livre est donc une mise à jour. Cette réécriture comprend une section couleur, plus de documentation relative à l’électricité et aux finitions, mais aussi des informations sur d’autres matériaux écologiques pour la construction.

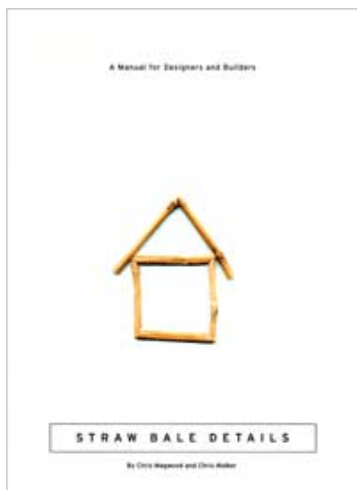
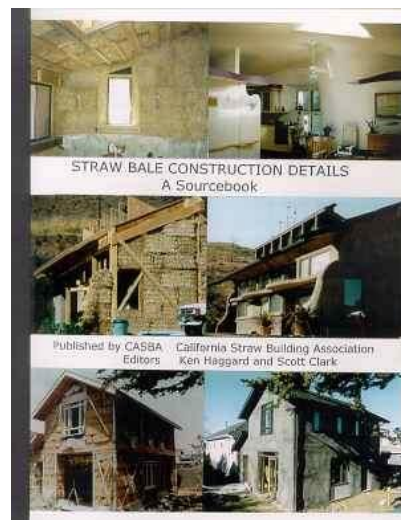


‘Buildings of Earth and Straw’, par Bruce King ;
Ecological Design Press, Chelsea Green, 1996

Ecrit par un ingénieur de structures, ce livre offre un bon outil pour une approche structurelle des bâtiments en terre banchée ou en paille.

‘Straw Bale Construction Details - A Sourcebook’,
par Ken Haggard et Scott Clark ;
California Straw Building Association, 2000.

Ce livre propose beaucoup de dessins et de détails relatifs aux différents modes constructifs en paille. Neuf systèmes y sont classifiés, comprenant les murs porteurs, les poteaux-poutres, les ossatures bois ou les systèmes hybrides.

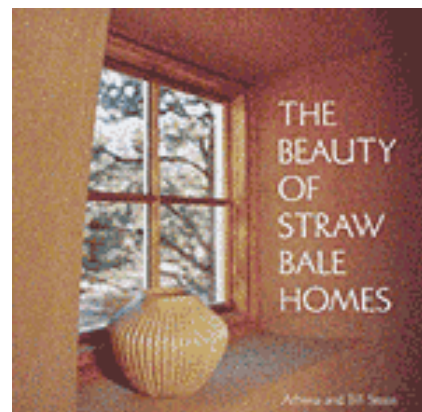


‘Straw Bale Details’,
par Chris Magwood et Chris Walker ;
New Society Publishers, 2001.

Dessins techniques, relatifs à la construction paille. Offre des schémas informatisés concernant les murs, fondations, portes, fenêtres et toitures. Comprend une partie avec test réalisés en laboratoire, codes de construction et finitions.

‘The Beauty of Straw Bale Homes’,
par Athena and Bill Steen ;
Real Goods Solar Living, Chelsea Green, 2000.

Cet ouvrage photographique regroupe des constructions - d’Amérique du nord et du Mexique - de styles très différents autour de beaux clichés et de petits textes explicatifs. Quelques pages sont consacrées au survol de la technique de construction en ballots de paille. On y trouve les recettes pour des peintures naturelles ou des enduits à base de terre. Ce livre visuel est très inspirant.

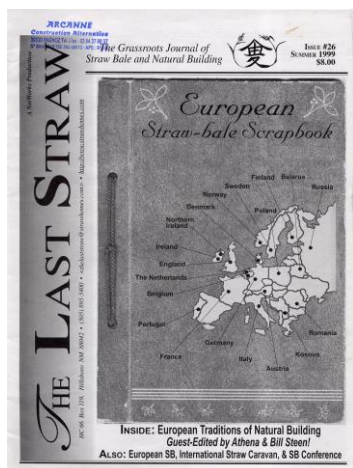
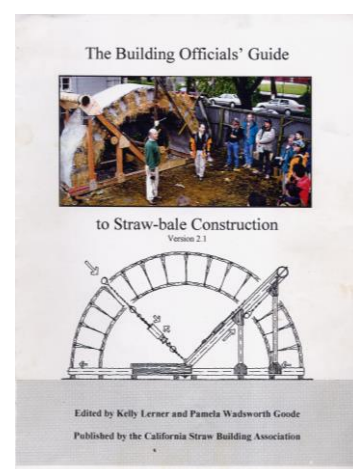


‘The New Strawbale Home’, par Catherine Wanek ;
Book News, 2003.

Ce livre répond à la question : « A quoi ressemble une maison en paille? » Avec plus de 200 images et des plans de maisons d’Amérique du nord, il regroupe un spectre de styles régionaux et de choix esthétiques personnels, offrant une vue des maisons en ballots de paille et des gens qui les habitent.

‘The building Officials’Guide to straw-bale Construction’,
par Kelly Lerner et Pamela Wadsworth Goode ; California
Straw Building Association, Version 2.1, 2000.

Seul véritable ouvrage technique et scientifique sur l’utilisation de la botte de paille, ce document fait le point des connaissances recensées par les acteurs californiens. Ouvrage de référence, il présente entre autre les premiers ‘codes’ obtenus dans l’état de Californie.



‘The Last Straw’,
Trimestriel, www.strawhomes.com.

Rédigé par une équipe tournante constituée des pionniers de la ‘construction paille’, ce périodique permettra à toutes celles et ceux qui veulent suivre le sujet d’avoir des nouvelles ‘de la paille’ tous les trimestres. Nouvelles majoritairement américaines, mais pas seulement, avec régulièrement des numéros spéciaux sur les rencontres internationales ou les voyages de tel ou tel constructeur ou constructrice paille en quête de collègues perdus ailleurs sur la planète.

Autres références

Extraites du dossier 'Montholier' rédigé par Arcanne pour le compte du PUCA – Ministère de l'Équipement /Juin 2004.

Travail actualisé grâce à l'aide d'André de Bouteur (www.la-maison-en-paille.com)

Autres ouvrages

- **Thermal Performances of straw bales**, www.buildinggreen.com/features/straw/table2.html
- **Straw: the next great building material?**, by A. WILSON, EBN, juin 1995.
- **Build It With Bales, Version 2**, by S.O. Macdonald & Matts Myhrman, 1997.
- **R-value of straw bales lower than previously reported**, EBN, octobre 1998.
- **Das Strohballenhaus**, Université de Hanovre, 1998.
- **Bauen mit Ballen(German)**, by Harald Wedig, OLVA, 1999.
- **Earth Plasters for Straw Bale Homes**, by Keely Meagan, self-published, 2000.
- **Straw Bale Building-How to Plan, Design and Build with Straw**, by Chris Magwood & Peter Mack, New Society, 2000.
- **Building Official's Guide to StrawBale Construction Version 2.1.**, by Kelly Turner & Pamela Wadsworth Goode, CASBA, 2000.
- **Strawbale Home Building**, by Gray & Hall, Chelsea Green, 2000.
- **Warning ! Strawbale building can seriously transform your life !**, by Barbara Jones, Green Books.
- **Bauen mit Stroh(German)**, by Herbert & Astrid Gruber, Oekobuch Verlag, 2000.
- **Strauballenbau(German)**, by Marcus Piringer & Anselm Schwade, 2000.
- **Halmbyggeressourcer (Danish)**, by Lars Keller, Jane Kruse & Jettie Nielsen, 2001.
- **Buildings with Straw Bales**, by Barbara Jones, Green Books, 2002.
- **A House of Straw : A Natural Building Odyssey**, by Carolyn Roberts, Chelsea Green, 2002.
- **Manuel de l'autoconstruction : la maison en ballots de paille**, par J. ROCHEFORT-SIMARD, Editions de la Mortagne, Canada, 2002.
- **Articles de 'La première paille'**, bulletin de l'Association Construire en Fibres Végétales.
- **Articles de 'The Last Straw'**, bulletin international de la Construction de Paille.

Travaux d'études

EBN (www.ecobuildnetwork.org)

- **Straw-Bale Shear Wall Lateral Load Test**, by Jason Nichols and Stan Raap, California Polytechnic State University, 2000.
- **For the land of Camels: A Straw Bale Test Wall for Seventeen Foot High Ceiling Structures in the Kingdom of Saudi Arabia**, by Chris Stafford, Christopher Stafford Architects, Washington.

- **A pilot Study Examining the Strength, Compressibility and Serviceability of Rendered Straw Bale Walls for Two Storey Load Bearing Construction**, by Micheal Faine and Dr. John Zhang, University of Western Sydney, Australia, 2000.
- **Preliminary Report on the Out-of-plane Testing of an 8x8ft Straw Bale/PISE Wall Panel**, by David Arkin and Kevin Donahue, Mill Valey, California, 2001.
- **Straw Bale Construction: A Review of Testing & Lessons Learned to Date**, by Bruce King, 2001.
- **A Status Report on the Greening of Building Codes and Standards**, by David Eisenberg, 2001.
- **Alternative Building Materials and Systems – Understanding Technical Risk and Uncertainty**, by John Straube, 2001.
- **Load-Bearing Straw Bale Construction**, by Bruce King, PE.
- **Properties of Earth, Lime, and Lime-cement Plasters .**
- **Bearing on bales plastered 2 sides .**
- **Mesh bond development .**
- **Mesh tension and shear at wood plates .**
- **Load-bearing and Creep .**
- **Out of plane load on wall .**
- **In-Plane Cyclic Tests of Plastered Straw Bale Wall Assemblies .**
- **Monitoring Ridge Winery**, by Dr. John Straube .
- **Moisture and Thermal Conditions for Degradation of Rice Straw .**
- **Moisture properties of straw and plaster/straw assemblies .**
- **Fire .**
- **Thermal Performance of Straw Bale Wall Systems .**

Canada Mortgage and Housing Corporation (CMHC) (<http://www.cmhc-schl.gc.ca/>)

- **Moisture Properties of Plaster and Stucco for Strawbale Buildings**, by John Straube, University of Waterloo, 1999.
- **Propriétés de résistance à l'humidité du plâtre et du stucco pour les bâtiments aux murs en ballots de paille**, by John Straube, University of Waterloo, 1999.
- **Straw Bale House Moisture Research**, by Rob Jolly, 2000.
- **Étude sur la teneur en eau des murs des maisons en ballots de paille**, by Rob Jolly, 2000.
- **Bibliography on straw bale housing (En/ Fr)**
- **Pilot Study of Moisture Control in Stuccoed Straw Bale Walls – CMHC**, by Bob Platts, 1997.
- **Étude pilote de contrôle de l'humidité des maisons en ballots de paille.**
- **Energy Use In Straw Bale Houses.**
- **La consommation d'énergie dans les maisons en ballots de paille.**
- **Wood Usage in Straw Bale House Construction.**
- **L'utilisation de bois dans la construction de maisons en ballots de paille.**
- **Alternative Wall Systems for Low-Rise Housing.**
- **Systèmes muraux non traditionnels pour les petits immeubles.**

University of Manitoba

(http://www.umanitoba.ca/faculties/afs/biosystems_engineering/overview.html)

- **Design Dead Load of a Straw Bale Wall**, by E. Arbour, 2000.
- **Design Approach for Load Bearing Strawbale Walls**, by K.J. Dick et MG. Britton, 2002.
- **Resistance to Shear in Stuccoed Straw Bale Walls**, by Lisa Stepnuk, 2002 .

Autriche : Austrian Straw Bale Network (ASBN) (www.baubiologie.at):

- **Wandsystem aus Nachwachsenden Rohstoffen – die Strohballenwand**
Projektbericht: Haus der Zukunft
- **Projektergebnissen zu Brandwiderstand, Brennbarkeit, Wärmedämmleitwert, bauphysikalischen Berechnungen und einer Beschreibung des mobilen Prüflabors**
Österr. Institut für Baubiologie und ökologie.
- **Die Zertifikate extra** (JPG oder PDF).
- **Strohballen-Belastungstest**, von Arch. Werner Schmidt, CH.

Danemark :

- **Fire resistance, Humidity and Thermal performance of a Straw Bale wall & performance of a mussel shell foundation**
- **Moisture Barriers in Straw-bale Construction**

Autres Recherches :

- **Full-scale fire tests a six story timber and frame building**, by Dr. Vahik Enjily from the Centre for Timber Technology and Construction
- **House of Straw: Straw Building Comes of Age**, 1995.
- **Straw Bale Exterior Pinning Report**, by Sustainability International, 1998.
- **Moisture Control in Strawbale Homes: Report to Ontario Building Code Commission**, by John Straube, University of Waterloo, 1999.
- **Community-Built Housing Solution: A Model Strawbale Home Design**, by D. Riley, G. MacRae and J.C Ramirez, 1998.
- **Moisture in Straw Bale Housing – Nova Scotia**, by S.H.E. Consultants, 1998.
- **Investigation of Environmental Impacts: Straw Bale Construction**, by Ann V. Edminster.
- **Evaluation of a Straw Bale Composite Wall**, by Edwin R. Schmeckpepper and Joe Allen, 1999.
- **Thermal Performance Test - Rotatable Guarded Hot Box (ASTM C 0236)**, by Oak Ridge National Laboratory (ORNL).
- **Straw-bale construction outstanding in CSIRO bushfire test.**
- **Refining Straw Bale R-values.**
- **Insulative Values for Straw Bale Construction.**
- **Acoustical Characterization of Straw Bales as Structural Elements**, by Carl J. Mas and E. Carr Everbach.
- **The Thermal Insulating Value of Straw Bales for Construction**, by Joseph McCabe, 1993.
- **A collection of mostly Canadian links to additional straw bale information.**
- **Tests available.**
- **Developing and Proof-Testing the ‘Prestressed Nebraska’ Method for Improved Production of Baled Fibre Housing**, by Linda Chapman & Robert Platts, Ottawa, 1996.
- **Energy Efficient Building Technologies for the Navajo Reservation and Analysis of a Straw-Bale/Adobe Dwelling Prototype**, by Jim Hanford & Joe Huang, Berkeley, 1994.
- **Evaluation of a Straw Bale Composite Wall**, by Edwin R Schmeckpeper & Joe Allen, Clarkson, 1999.
- **Investigation of environmental Impacts: Straw-Bale Construction**, by Ann V. Edminster, Pacifica, 1995.
- **Moisture in Straw Bale Composite Wall**, by S.H.E. Consultants, Wolfville, 1998.

- **New Mexico ASTM E-119 Small Scale Fire Test and Structural Testing**, from the Straw Bale Construction Association (SBCA), 1993.
- **Pilot Study Control in Stuccoed Straw-Bale Walls**, Ottawa, 1997.
- **Straw Bale Construction Research Project**, by Portlan Community College Engineering Technology Students & Volunteers.
- **Straw Bale Exterior Pinning Report**, by Bob Bolles & Boert Gay, Snootier, 1998.
- **Straw Bale Moisture Sensor Study**, from CMHC (manager du projet: Don Fulger), Ottawa, 1997.
- **A Straw Bale/Mortar House Demonstration Project**, by Luis Gagne, Ottawa, 1986.
- **An innovative straw-bale/mortar wall system**, by Luis Gagne, Ottawa, 1984.
- **Straw Bales and Straw Bale Wall Systems**, by Ghailene Bou Ali, 1993.
- **Summary of a Structural Straw Bale Testing Program**, by David Einsenberg with Matts myhrman & Judy Knox.
- **Strawbale Moisture Monitoring Report for the CMHC**, by Rob Jolly, 1998.
- **Structural Behaviour of Straw Bale Wall Construction**, by John Carrick & John Glassford, 1998.
- **Structural testing on a straw bale vault design**, by Skillful Means, 1999.
- **Testing Straw-Bale Construction in the Soggy Northwest**, by Aprovecho Research Center.
- **Thermal and Mechanical Properties of Straw Bales As They Relate To a Straw House**, by Kim Thompson, K.C. Watts, K.I. Wilkie & J. Corson, 1995.
- **The Thermal Resistivity of Straw-Bales for Construction**, by Joseph C. McCabe, 1993.
- **ASTM E72 Compression Test of Plastered Straw-Bale Walls** by Matt Fitzgerald Grandsaert, University of Colorado, 1999.
- **ASTM E72 80 Compressive, Transverse and Racking Tests of Load-Bearing Walls**, by John Carrick BE and John Glassford, Australia, 1998
- **Straw Bale Bending and Cement Plaster/Straw Bale Bond Testing**, by Jonathan Boynton, California Polytechnic State University, 1999.
- **In-Plane Lateral Loading of a Stuccoed Straw-Bale Walls**, by Nathan White and Clint Iwanicha, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, 1997.
- **Straw Bale Vault Test**, by David Marr, Berkeley California, 1998.
- **Compressive and Lateral Loading of Straw-Bale Walls**, by Ghailene Bou-Ali, University of Arizona, 1993.
- **Thermal and Mechanical Properties of Straw Bales as They Relate to a Straw House**, by the Canadian Society of Agricultural Engineering, Canada, 1993.
- **Straw-Bale Construction Moisture Research**, by Joanna Karl, Lis Perlman and Bill Kownacki, Portland, 1995.
- **E-119 Small Scale Fire Test**, by SHB AGRA, 1993 New Mexico.
- **Thermal Performance of Straw Bale Walls**, by Nehemiah Stone and Tav Cummins, California, 1999.
- **L'architecture en paille**, par A. Cauwell, mai 1997.
- **Construire en ballots de paille**, par C. Gay pour son TPFE à l'Ecole d'architecture de Clermont-Ferrand.

Codes (équivalent des règles professionnelles ou des D.T.U.)

- AUSTIN, TEXAS
- BELARUS, RUSSIE
- BOULDER, COLORADO
- CALIFORNIE H&S 18944
- CORTEZ, COLORADO
- GUADELOUPE, ARIZONA
- OREGON
- NEVADA CODE MANDATE.
- NOUVEAU MEXIQUE SB CODE
- PINAL COUNTRY, ARIZONA
- CITY OF TUSCON AND PIMA COUTY ARIZONA BUILDING CODE.

Sites internet

- Allemagne:** http://members.tripod.de/Sven_E/ → <http://anderssehn.de/mediawiki/index.php?title=Strohballen>
<http://www.strawbalehouse.de/> introuvable !!!
- Autriche :** <http://www.baubiologie.at/>
<http://www.global2000.at/tnawaro/index.htm>
<http://www.grat.tuwien.ac.at/> renvoie à <http://www.grat.at/cgi-bin/news.pl>
- Belgique:** <http://www.inti.be/ecotopie/ballots.html>
- Danemark :** <http://www.folkecenter.dk/strawbale/> marche pas mais →
http://www.folkecenter.dk/da/strawbale/halmbog_2001.htm
<http://www.munkesoegaard.dk/>
<http://home4.inet.tele.dk/dbf/>
<http://www.dr.dk/halmhuset/>
<http://www.eco-net.dk/halmbyg/webguide2.htm> marche pa mais <http://www.eco-net.dk/>
- Etats-Unis:** <http://www.strawhomes.com>
<http://mha-net.org/html/sblinks.htm>
- France:** <http://www.la-maison-en-paille.com/>
- Hongrie:** <http://draconis.elte.hu/szalma/zemplen/> marche pas
- Norvège:** http://www.strandsjo.no/htms/over_tysk.html marche pas mais <http://www.strandsjo.no/>
- Pays Bas:** <http://www.ndsm.nl/locatie/docs/houtenkop.html> marche pas mais <http://www.ndsm.nl/>
<http://www.rened.cistron.nl/> marche pas
- Rép.Tchèque :** <http://www.ecn.cz/rosa/dum2.html>. Renvoie à <http://www.zelenabrana.cz/rosa/index.php>
<http://www.fsv.cvut.cz/lists/ekodum/2001/msg00090.html> renvoie à
<http://mailman.fsv.cvut.cz/lists/ekodum/2001/msg00090.html>
- Royaume-Uni :** <http://www.strawbalefutures.org.uk/>
<http://www.strawbalebuildingassociation.org.uk/>
<http://www.cat.org.uk/indexnf.tmpl>

<http://gabionorg.free.fr/>

Cette association est un centre de formation aux métiers du bâtiment écologique ou patrimonial. Elle propose des stages de formations, pour tout public et professionnels, autour de la construction avec des matériaux naturels (briques de terre, torchis, ardoise de pays, bois cordé, brique d'adobe, pisé, bois, paille, plâtre, bardeaux de mélèze).

<http://www.compailions.fr/>

Association pour la promotion de la construction en bottes de paille.

Son but est de réveiller les consciences sur l'urgence de remettre sur pied un environnement sain pour les générations futures.

Pour cela elle crée un réseau de membres autoconstructeurs, professionnels et bénévoles. Ceci pour aider les maîtres d'ouvrage dans leur recherche de matériaux sains et de techniques susceptibles de convenir à la construction de leur maison.

<http://www.habitatvegetal.com/>

Botmobil

Association pour la promotion et le développement des constructions en fibres végétales et terre.

Pour répondre à une demande croissante pour des bâtiments en paille, Tom Rijven propose des formations sur chantiers participatifs, en tant que formateur.

Le site promeut également la construction en fibres végétales et terre. Des explications sont fournies, avec photos à l'appui.

<http://www.la-maison-ecologique.com/index.php>

Vous vous demandez quels sont les matériaux les plus écologiques, comment faire des économies d'énergies, si il est possible de récupérer l'eau de pluie, comment avoir un air intérieur de bonne qualité, où trouver un revendeur près de chez vous, en combien de temps s'amortit un chauffe-eau solaire...?

La Maison écologique répond à toutes ces questions depuis bientôt 6 ans.

<http://www.ideesmaison.com/div/div/intro.htm>

Ce site donne des conseils pour la réalisation de maisons performantes thermiquement, propose aussi des plans de maisons en ligne.

Une partie du site est consacrée à la vente (matériaux sains : isolants, peintures... , filtres à eau, ampoules basse énergie).

Dernières adresses trouvées sur le net

Ontario Straw Bale Building Coalition : <http://www.strawbalebuilding.ca/>

The Strawbale Building UK : <http://www.strawbale-building.co.uk/>

Straw Bale Construction : <http://www.greenbuilder.com/sourcebook/strawbale.html>

Building Today for Tomorrow : <http://www.greenhomebuilding.com/strawbale.htm>

The Straw Bale Building Association : <http://www.strawbalebuildingassociation.org.uk/>

Sustainable Architecture, Building and Culture :

<http://www.sustainableabc.com/strawbale.html>

<http://www.strawbale.co.uk/>

California Straw Building Association : <http://www.strawbuilding.org/>

Das erste Strohballenbaus in Deutschland :

http://www.strohballenbau.de/erster_strohbau.html

S-House; Balanced Technologies : <http://www.s-house.at/cgi-bin/news.pl?id=56>

Strohballenbau – die Revolution im Hausbau : <http://www.bauatelier.at/strohballenhaus.html>