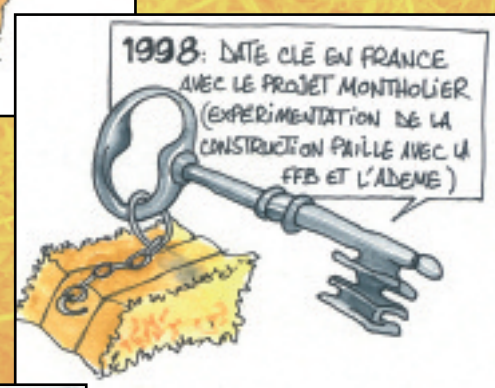
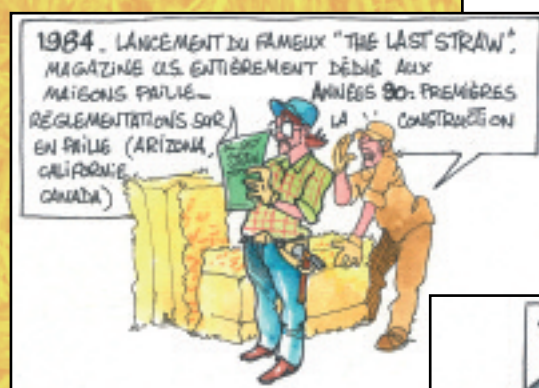


Maison en paille, c'est du solide

dossier réalisé par
Julie Barbeillon

et Jérémy Coudel, Samuel Courgey, Florent Dehaine et
Bruno Jarno de l'association Arcanne.

Construire en paille... Une phrase toute simple qui en fera peut-être sourire certains. Mais pas les fidèles lecteurs de *La Maison écologique*. Ceux-là savent déjà, articles et dossiers à l'appui, que la botte de paille est utilisée dans la construction depuis plus de 100 ans. Ils savent aussi qu'elle possède d'excellentes qualités d'isolation, qu'elle est souvent disponible à proximité de son chantier et que de nombreux autoconstructeurs et professionnels la mettent en œuvre dans le monde entier. Elle a simplement été mise à l'écart quelques années, le temps de comprendre que le bloc béton n'était pas une solution durable pour la planète. Et, depuis 25 ans, elle revient en force pour remplir murs, toits et planchers. Le milieu alternatif a été un grand testeur des modes de construction en ballot de paille. Aujourd'hui, des techniques fiables sont disponibles. La maison en paille n'est pas une chimère, on la trouve jusque dans les lotissements ! Merci aux pionniers...



Maison en paille, c'est du solide

Depuis ce que l'on appelle communément « la redécouverte » de la botte de paille comme matériau de construction voici une vingtaine d'années pour la France, la maîtrise du sujet s'est largement affinée. Internet et les nombreux réseaux ont permis à chaque dynamique locale de s'enrichir de l'expérience des autres groupes. On estime à environ un millier le nombre de bâtiments construits en botte de paille en France. La plus ancienne connue, la maison Feuillette, date de 1921. Aujourd'hui, on compte quasiment 800 chantiers en cours ! Et l'engouement est mondial : États-Unis, Danemark, Autriche, Allemagne, Suède, Finlande, Biélorussie, Australie, Chine...

Les trois grands modes constructifs en paille

La botte de paille peut être utilisée comme élément porteur : les ballots sont alors soit maçonnés (avec un mortier épais), soit placés les uns au-dessus des autres puis comprimés (technique dite Nebraska) à l'aide de sangles, du poids du toit, de tiges filetées... La première technique a tendance à disparaître du fait des nombreux ponts thermiques dus au mortier. La seconde, de mieux en mieux maîtrisée, notamment en Angleterre grâce au travail de l'association Amazonails, a permis de construire des habitations avec un étage. En France, l'entreprise FTN Concept s'est spécialisée dans la construction en petites et grosses bottes porteuses. « *Les big bales sont des grosses bottes de paille rectangulaires de plus de 160 kg, précise Noé Solsona, l'un des gérants de l'entreprise. Leur intérêt ? Une résistance thermique excellente d'environ 11 m².K/W. Une rapidité de mise en œuvre impressionnante : environ deux semaines suffisent pour mettre hors d'eau une maison. Et puis, pas besoin d'ossature bois, mais il faut être équipé d'un engin de levage.* »

Autre mode constructif : le ballot est utilisé en remplissage d'une structure porteuse en poteau-poutre, ossature bois... Grâce au savoir-faire déjà acquis par les charpentiers et à la reconnaissance réglementaire du matériau bois, cette technique est aujourd'hui la plus utilisée en France. Elle se décline sous diverses formes présentées dans le tableau p. 26 qui peuvent aller jusqu'à la préfabrication en atelier de murs caissonnés remplis de bottes de paille (Bâti Nature, Tout Naturellement). D'autres structures (Naturel Home, Éliosystem) proposent la

préfabrication en atelier des caissons, le remplissage en bottes de paille étant laissé aux propriétaires constructeurs.

Troisième mode constructif : le rôle structurel et contreventant de l'édifice est partagé par l'ensemble paille-enduit-structure légère bois. C'est le cas dans les techniques dites CST, « cellule sous tension » et Greb. Cette troisième catégorie est encore en phase « expérimentale » même si plusieurs autoconstructeurs, entreprises et maîtres d'ouvrages pionniers l'ont d'ores et déjà adoptée. Elle ne bénéficie pas de normes structurelles connues, mais des tests sont en cours pour quantifier leurs performances mécaniques. Deux ouvrages détaillant ces techniques sont référencés page 33.

Bâtir en paille ?

Oui, si les bâtiments sont conçus et construits pour être performants et durables.

Environ 72 % de l'énergie dépensée par un bâtiment l'est pendant son utilisation. Alors, même si notre précieux ballot possède un écobilan à faire fondre le bloc béton, même s'il est très isolant et peu onéreux, n'oublions pas que pour rester pertinent il doit être mis en œuvre consciencieusement. Désor-

mais connue et maîtrisée, la construction en botte de paille séduit sans cesse de nouveaux acteurs qui l'abordent, pour certains, comme l'on fait les pionniers des années 70. Mais l'excitation qui accompagne cette démarche de « pionnier » ne doit pas nous priver des connaissances déjà acquises. En effet, comme tout matériau de construction, la botte de paille requiert des précautions de mise en œuvre. Loin de nous l'idée de vous faire peur (au contraire !) et de vous freiner dans votre envie de (faire) construire une maison en paille. Mais pour que les chantiers paille, de plus en plus nombreux, n'accouchent pas de contre-exemples, pour qu'ils ne deviennent pas la risée des lobbies du bâtiment industrialisé et énergivore, chacun se doit de se renseigner et de se former⁽¹⁾ avant de se lancer.

Indépendamment de la technique constructive choisie, les points clés de la réussite d'une construction paille sont : le choix des bottes et des parements, la qualité de réalisation de ces parements, des bas de murs et des entourages de menuiseries.

Trouver botte à son pied

Les caractéristiques techniques du matériau paille établies actuellement concernent très majoritairement les bottes de moyenne densité (≈ 70 à 120 kg/m^3). En plus d'être

Pour une maison de 100 m², comptez en moyenne 500 petites bottes de paille soit la production d'environ 2 ha de blé. Ici, la construction est réalisée en mini big bale, des bottes de paille de plus grande dimension que les petites bottes traditionnelles.





sèche lors de la pose, la paille ne doit jamais avoir pris l'eau après avoir été coupée. Une botte de paille tachée, ou pire, présentant des traces (visuelles ou olfactives) de moisissures ou de champignons, ne doit en aucun cas être utilisée pour la construction. Pour vous faciliter la mise en œuvre, tâchez de trouver des bottes régulières (en longueur et densité) et qui se tiennent correctement (ficelles bien tendues).

Les ballots peuvent être posés à plat, sur chant ou bien debout. Les études réalisées montrent que, à épaisseur égale, le pouvoir isolant est de 15 à 50 % meilleur pour les bottes dont les fibres sont placées perpendiculairement au flux de chaleur. De fait, c'est cette pose que l'on rencontre désormais le plus souvent (bottes posées sur chant ou debout avec les fibres perpendiculaires à l'épaisseur de la paroi). Cette position permet en outre de réduire l'épaisseur des murs. Deux principes sont à respecter au moment de la pose :

- les bottes de paille doivent être solidaires de la structure bois du bâtiment ;
- un système doit empêcher les bottes de se tasser.

Pour le remplissage paille d'une ossature bois ou d'une isolation extérieure, ces deux points sont respectés par une mise sous tension, même légère, des bottes entre poteaux, et par la pose, généralement toutes les deux

épaisseurs de bottes, de tasseaux venant les comprimer.

Dans les isolations de rampants, les liteaux pourront être remplacés par des entretoises (petites planches de bois) placées toutes les 4 à 5 bottes. En isolation de plancher, ces entretoises ne seront pas nécessaires. Mais, dans tous les cas, les bottes devront être mises en place un peu en force, pour être légèrement comprimées une fois dans la paroi.

Construction en botte de paille et risque d'incendie ?

Que ce soit pour des murs, une toiture ou une isolation de plancher, ce qui motive le choix des parements c'est, outre l'esthétique, la protection contre le feu, les rongeurs, les insectes, l'eau et l'humidité en général.

Si la paille est par nature sensible au feu, la paille comprimée l'est beaucoup moins. Tests à l'appui ⁽²⁾, la botte de paille permet même de retarder la propagation du feu. Cette réalité qui rassure ne doit néanmoins pas faire oublier que durant la phase de chantier, il faut nettoyer régulièrement les sols pour éliminer les fétus qui pourraient prendre feu facilement. Mieux vaut également éloigner le stock de paille du chantier, les risques de départ de feu y étant importants (mégots, étincelles de disqueuse...). Plus vite la paille

Carte d'identité d'une botte de paille

Nom : Ballot ou botte de paille.

Description : Chaumes orientés, comprimés et liés en plein champ donnant de grosses briques végétales.

Origine : Co-produit de la récolte des céréales.

Composition : Cellulose, lignine, silice, cuticule cireuse.

Signe distinctif : Sans marque commerciale !

Dimensions moyennes observées :

$l \times h \times L = 45 \times 35 \times 80$ à 110 cm.

Densité moyenne : 70 à 120 kg/m³.

Inertie thermique : Bonne pour un isolant (capacité thermique entre 14 et 22 kWh/m².K).

Propriété isolante : Excellente. Résistance thermique (R) $\approx 6,5$ m².K./W pour un ballot de taille moyenne, conductivité thermique (λ) = 0,045 à 0,07 W/m.K (selon les tests, le sens des fibres et l'humidité).

Perméabilité à la vapeur d'eau : Très forte ($\mu \approx 1$; $0,30 \text{ m} < Sd < 0,50 \text{ m}$).

Hygroscopie : Forte. Potentiel d'absorption d'eau jusqu'à 25 % de sa masse sur de courtes durées sans risque d'altération.

Résistance au feu : Moyenne pour un ballot, excellente pour la paille enduite. Respectivement classés B2 et F90 en Allemagne et en Autriche.

Inconvénient : Matériau putrescible.

Coût : 1 à 2 € en moyenne par ballot.

Caractéristiques environnementales :

Production locale, valorisation d'un « co-produit » de l'agriculture, matériau « puits de carbone » (stockeur de CO₂), énergie grise très faible (0,21 MJ/kg de paille contre 30,25 MJ/kg pour la laine de verre). Sans émanation toxique.

Utilisation dans la construction : principalement en remplissage d'ossature bois pour l'isolation thermique des murs, toitures et planchers. Plus rare en France, utilisation comme structure porteuse ou participant au contreventement du bâtiment. De plus en plus fréquent en doublage des murs par l'extérieur en rénovation.

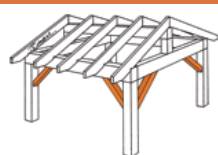


Maison en paille, c'est du solide



Les principaux types d'ossature bois

La botte de paille sert souvent en France de remplissage d'une ossature bois. Si chaque système d'ossature a ses avantages et inconvénients, il est prudent de respecter les règles de calcul et de mise en œuvre des bâtiments à ossature bois^(a). Si vous n'êtes pas sûr de vos calculs, faites réaliser le dimensionnement par un spécialiste. Et inspirez-vous des connaissances accumulées par les professionnels de la filière bois pour gérer les points sensibles : bas et haut de mur, angles, entourages de baies...



Poutre-poutre

Les pièces d'ossature sont espacées, la stabilité du bâtiment (= contreventement) est assurée par des pièces de bois obliques (en orange).

Les plus :

- Facilite la recherche d'un professionnel (les charpentiers français connaissent bien cette technique).
- Adapté pour avoir des façades enduites de manière rustique des deux côtés.

Les moins :

- Complexifie la pose des bottes (plus de coupes dues au contreventement...).
- Le plus gourmand en temps (adaptation des bottes + enduits sur les deux faces) et en bois (nécessité d'une ossature secondaire pour solidariser les ballots).



Ossature centrée (poteaux en milieu de murs)

La stabilité du bâtiment est assurée par des agrafes ou goussets bois (jaune) et des voiles contreventants (vert et orange) pouvant au besoin être fichés dans la maçonnerie (murs de refend maçonnés...).

Les plus :

- Adapté aux petits bâtiments simples.
- Adapté pour appliquer des enduits rustiques des deux côtés.
- Le moins cher en matériaux (mais pas en main-d'œuvre). C'est une technique qui séduit nombre d'autoconstructeurs.

Les moins :

- Difficilement adaptable aux bâtiments grands, aux formes complexes et aux constructions de plus d'un étage et demi.
- Assez gourmand en main-d'œuvre (enduits sur paille de part et d'autre).



Ossature décentrée côté extérieur

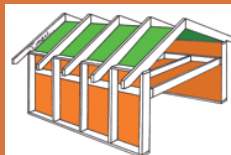
La stabilité du bâtiment est assurée par des voiles contreventants (vert et orange) pouvant, pour les murs, servir de pare-pluie.

Les plus :

- Facilite le montage de l'ossature (les murs avant la toiture).
- Adapté aux façades bardées ou avec crépis minces (sur panneaux fibragglo).
- En faisant faire ossature et façades par des entreprises : très adapté à l'autoconstruction partielle.

Les moins :

- Moins adapté si le souhait est d'avoir deux façades enduites de manière rustique.
- Pose difficile de la paille dans les angles si ce n'est en cours de montage de l'ossature.



Ossature décentrée côté intérieur

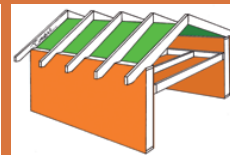
La stabilité du bâtiment est assurée par des voiles contreventants (vert et orange) pouvant par ailleurs servir de parement final (panneaux bois, Fermacell...).

Les plus :

- Facilite le montage de l'ossature (les murs avant la toiture).
- Adapté aux parements droits à l'intérieur (bois, plaques de plâtre...).
- Adapté pour avoir des enduits rustiques à l'extérieur.

Les moins :

- Moins adapté si le souhait est d'avoir deux façades enduites de manière rustique.
- Moins adapté à l'autoconstruction partielle que la précédente. Ici la gestion fine des détails extérieurs reste à faire par l'autoconstructeur (contour des baies...).



Système «coffre»

Système plus classique d'ossature bois (la paille n'est qu'un remplissage isolant). C'est également ce système qui est utilisé pour les toitures et les planchers isolés de paille.

Les plus :

- Facilite l'engagement des assurances auprès des professionnels (c'est souvent l'enduit sur paille qui les rebute).
- Permet une préfabrication en atelier.
- Souvent le moins cher si l'on fait tout faire par des entreprises.

Les moins :

- Plus gourmand en matériaux standardisés.
- Moins adapté si le souhait est d'avoir des façades enduites de manière rustique.

mise en œuvre sera protégée (panneaux de parement ou première couche d'enduit), moins les risques d'incendie seront grands. Veillez à choisir des parements intérieurs coupe-feu comme les enduits (chaux, terre, plâtre) ou des plaques de plâtre ou bien encore certains panneaux de bois lisses type « trois plis ». Pour les adeptes des finitions bois, lambris par exemple, il sera donc nécessaire de placer un revêtement coupe-feu entre la paille et la finition (enduit par exemple).

Les enduits chaux, terre et plâtre sont particulièrement adaptés à la construction en paille. Le dernier est encore peu utilisé, mais son potentiel semble réel ⁽⁴⁾ : léger, il supporte de fortes épaisseurs ; poreux il permet d'évacuer facilement la condensation ; coupe-feu, très perspirant, facile et surtout très rapide à mettre en œuvre (à la main ou projeté) ; peu énergivore (fabrication à partir de gypse cuit à 150 °C), etc.

Chercher les petites bêtes dans la botte de paille ?

Si les rongeurs apprécient bon nombre d'isolants qu'ils déstructurent lors de leur passage, la paille en botte ne leur est pas particulièrement confortable car trop compressée. Néanmoins, il est arrivé de trouver quelques loirs nichant dans les isolations de toiture. On veillera donc à placer des parements qui « enferment » totalement la paille, ce qu'il convient également de faire avec d'autres isolants. Il faudra alors bien soigner les liaisons murs/toiture et murs/cloisons en posant des joints souples ou des couvre-joints par exemple. Dans le cas d'une isolation de toiture ou de façades bardées, préférez un pare-pluie en panneaux bouvetés qui s'imbriquent les uns dans les autres, plutôt qu'en toile de telle façon à avoir devant la paille une paroi réellement continue.

Eau et humidité : le nerf de la guerre

C'est LE point sensible, et il doit monopoliser toutes les attentions dans l'art de réaliser les parements : choix des matériaux et qualité de mise en œuvre. La diffusion à travers les murs de la vapeur d'eau, celle que nous produisons lorsque nous respirons, cuisinons, lavons... dans nos maisons, ne devra pas contrarier la durabilité des bottes de paille. Pour cela, le parement extérieur devra être plus ouvert (perméable) à la vapeur d'eau que le parement intérieur. En pratique, on utilise la valeur $Sd^{(5)}$ (épaisseur de lame

Un réseau national pour la construction paille



À droite, Luc Floissac, le porte-parole du Réseau.

Depuis sa création en 2006, le Réseau français de la construction en paille (RFCP), alias Les Compailleurs, ne cesse d'agrandir le cercle de ses adhérents. Aujourd'hui, 400 membres, dont 70 professionnels et 30 structures associatives, s'activent pour faire avancer la cause du ballot. Luc Floissac, porte-parole du réseau, répond à nos questions.

Comment est né le RFCP ?

Le réseau s'est structuré en 2006 à partir d'un réseau d'entraide à la construction paille déjà existant et des initiateurs d'un forum Internet sur ce même thème. Il apparaissait alors important de nous organiser et de mutualiser nos savoirs. Nous avons rapidement mis en place des groupes de travail pour faire avancer les sujets qui bloquent encore le développement de la construction en botte de paille.

Le groupe Diffusion de l'information gère notre présence dans divers salons, l'organisation de deux grandes manifestations de plusieurs jours que sont les AG automnales et les Festipailles en début d'été. À ces occasions, de nombreux ateliers, des conférences et des démonstrations ponctuent nos séances de travail. Ce groupe réalise également des bulletins d'information accessibles depuis notre site Internet, *Les Paillettes* et *l'Info Paille*.

Quels sont les grands travaux du réseau en ce moment ?

Un groupe travaille sur la formation des professionnels et des autoconstructeurs. Il a mis en place des cycles de formation en collaboration avec des fédérations de professionnels comme la Capeb ou bien dans des structures associatives membres du réseau. Le travail consiste maintenant à faire reconnaître officiellement les formations professionnelles en vue d'une prise en charge financière.

Un autre groupe se concentre sur les assurances des constructions paille, que ce soit sur chantier ou pour les bâtiments. Les résultats sont très encourageants et les particuliers assurent maintenant facilement leur chantier et leur construction paille. Il reste encore une grande étape à passer pour que les profession-

nels puissent tous bénéficier des assurances décennales et accèdent à des projets du marché public (écoles par exemple). C'est le travail d'un troisième groupe, composé d'une vingtaine de membres aux compétences complémentaires, qui s'applique à rédiger des règles professionnelles de la construction en paille. Ce travail de fourmi est en très bonne voie et devrait être transmis début 2009, à la Commission Prévention Produit (C2P) pour que commencent les discussions permettant d'aboutir à une véritable reconnaissance officielle de la construction en botte de paille en France. Et si cette commission valide le travail du réseau, les assureurs auront un document officiel leur permettant d'assurer « sans risque » ce type de construction. [*La Maison écologique* ne manquera pas de relayer les suite de ce travail (ndlr)].

Qu'apporte le réseau aux particuliers intéressés par la construction en paille ?

Les particuliers trouvent sur notre site Internet de nombreuses possibilités d'information :

- la participation à un forum qui regroupe plus de 1 600 membres discutant de plus de 2 000 sujets concernant la construction en paille ;
- des liens vers une quarantaine de blogs d'autoconstructeurs en paille ;
- des coordonnées de professionnels constructeurs et d'associations proposant des formations à la construction en paille ;

Le réseau a également mis en place un partenariat avec le Crédit coopératif pour que les porteurs de projets de constructions en paille puissent, moyennant validation du projet par Les Compailleurs, bénéficier d'un prêt immobilier à taux préférentiel.

Mais y a-t-il assez de paille pour construire en France ?

On a calculé que si tous les logements neufs français construits chaque année (500 000) l'étaient avec des bottes de paille, cela mobiliserait seulement 5 % de la paille produite en France.

Toutes les infos sur : www.compailleurs.fr

Maison en paille, c'est du solide



Manipulées avec des engins mécaniques (grues, fourches de tracteur...), les big bales, grosses bottes de paille rectangulaires sont mises en œuvre en deux ou trois journées. Ne reste plus qu'à poser le toit !

d'air équivalente, en mètre) pour caractériser la perméance, capacité à laisser plus ou moins passer la vapeur d'eau. Plus Sd est élevé, plus la résistance est grande. Jusqu'à maintenant, il était d'usage de suivre la norme britannique, la plus simple à appliquer, pour choisir ses parements intérieurs et extérieurs. Il s'agit de suivre la règle dite « du 5 pour 1 », dans laquelle la paroi extérieure doit être cinq fois plus perméable à la vapeur d'eau que la paroi intérieure. Le Sd du parement intérieur doit donc être cinq fois plus élevé que celui du parement de la paroi extérieure. Mais on sait désormais que lorsque les deux faces des bottes sont enduites directement sur paille, un rapport de 1 à 2 peut être suffisant, et qu'en présence d'un enduit terre, généralement à l'intérieur, cette règle n'a plus forcément besoin d'être respectée.

Que l'on ait des enduits ou des panneaux de plâtre, de bois... les parements intérieurs doivent assurer le rôle de frein-vapeur et d'étanchéité à l'air. De fait, ils doivent être réalisés de façon continue : sans fissures ni discontinuités (attention à la jonction entre parois, aux entourages de baies, à la continuité des enduits derrière les boîtiers électriques...). Enfin, un rappel souvent nécessaire tant certaines croyances ont la vie

de : ce n'est pas parce qu'un mur est perspirant (très perméable à la vapeur d'eau) que le bâtiment peut se passer d'un système de ventilation efficace. En effet, si cette caractéristique des parois permet de gérer une partie de la vapeur d'eau produite par la présence et les activités des occupants, elle ne suffit pas à en gérer l'intégralité. De plus la mission d'une ventilation est également d'évacuer l'air vicié

(polluants, CO₂...) et d'apporter de l'oxygène, ce qu'un mur perspirant ne saurait faire seul.

Désormais, professionnels et particuliers peuvent venir se former dans le cadre du premier stage monté en France par l'association britannique Amazonails sur le sujet « Paille et Humidité » (voir info p. 33).

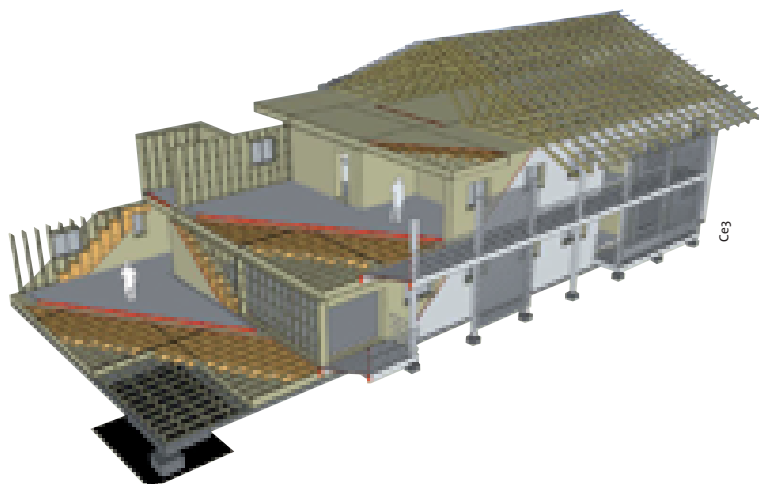
Autres points des plus sensibles concernant le vaste sujet de l'humidité : l'étanchéité à l'eau des façades et pieds de murs. En toiture et en façade bardée de bois, cette protection est assurée par un panneau pare-pluie correctement posé. Mais dans le cas des murs enduits, la moindre fissure, si ce n'est superficielle, mettra en péril la durabilité de la paille.

Les grands principes de protection contre l'humidité des murs en paille enduits sont :

- une réalisation méticuleuse de l'étanchéité des tours de baies, angles et bas de murs pour éviter tout interstice permettant à l'eau d'entrer dans le mur ;

- la réalisation d'enduits qui ne fissent pas. Ceci nécessite par exemple de ne pas enduire directement sur le bois, mais d'intégrer entre les pièces de bois et l'enduit un matériau réalisant l'interface (panneau fibragglo, roseau...). Enfin, partout où le mur présente un changement de support (jonction fibragglo-paille par exemple), il est nécessaire d'intégrer dans l'enduit une trame (toile de jute, fibre polyamide, grillage... selon le type d'enduit). En outre, la couche d'enduit de finition doit être peu dosée en liant, peu épaisse et régulière dans son épaisseur. D'une manière générale, les spécifications habituelles données en France pour les enduits traditionnels (DTU 26-1) sont adaptées aux enduits sur paille.

Les projets paille d'ampleur se multiplient. Ici, 20 logements sociaux sur la commune de Massat (09). Mais aussi le CAUE de l'Aude, un complexe écolier à Issy-les-Moulineaux (92), Maison des vergers à Vandonnecourt (25)...



Résultats de récents travaux sur l'humidité et la construction paille

par Bruno Jarno, thermicien de l'association Arcanne.

Si la gestion de l'humidité dans un bâtiment a très souvent été négligée ou simplifiée en France par l'utilisation systématique de pare-vapeur, penser que les matériaux dits naturels constituent une solution miracle aux problèmes d'humidité est tout aussi imprudent. Hygroscopie et perméabilité à la vapeur d'eau étant des caractéristiques avec lesquelles on doit composer et non des qualités à proprement parler.

On sait désormais que la paille peut absorber sans risque 20 à 25 % de sa masse en eau sur de courtes durées. Au-delà, de l'eau libre sera disponible pour les micro-organismes qui peuvent enclencher un processus de décomposition de la paille. Les récents travaux de Jakub Wihan, et notamment sa thèse* sur l'humidité dans les murs en botte de paille, sont d'une grande utilité pour les constructeurs paille d'hier et d'aujourd'hui. Ils ont permis de mettre en évidence scientifiquement les causes d'altérations pressenties : l'absence de système de ventilation, une mauvaise gestion des entourages de baies, les fissurations d'enduits, de mauvaises ruptures de capillarité en base de murs et l'absence d'isolation des soubassements. Autrement dit, si la continuité de l'enveloppe habillant la paille est assurée, les risques d'altérations sont très faibles.

Afin d'évaluer les risques restants, une fois tous ces points maîtrisés, des outils de simulation dynamique tenant compte du climat extérieur (pluie, vent, ensoleillement, température, humidité) et du climat intérieur (température, humidité) adaptés aux

matériaux hygroscopiques existent. C'est le cas du logiciel allemand Wufi**. Grâce à cet outil, le travail mené par Arcanne*** confirme les résultats de Jakub Wihan avec entre autres deux situations pour lesquelles les murs en paille sont contre-indiqués :

- façades enduites directement sur paille très exposées aux pluies battantes dans un climat humide (océanique et continental). Généralement les façades ouest, parfois sud ;
- locaux très humides ou locaux non ventilés.

Les études en cours cherchent à affiner encore la connaissance du comportement des enduits à l'humidité et à la pluie. Les premiers résultats condamnent l'emploi du ciment mais confirment le bon comportement des enduits chaux et terre.

* *Humidity in straw bale walls and its effect on the decomposition of straw* de Jakub Wihan, University of East London School of computing and technology, 2007.

Le comportement des murs en botte de paille vis-à-vis de l'humidité analysé au travers de mesures expérimentales et de simulations numériques. Disponible en anglais (traduction en cours) sur : www.jakubwihan.com/pdf/thesis.pdf

** WUFI, de Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Logiciels de simulation des transferts hygrothermiques dans les parois de bâtiment.
Disponibles sur : www.wufi.de

*** *Accompagnement d'une demande d'Avis technique sur un procédé d'isolation en botte de paille*, (Massat - Ce3 / Florent Dehaine) de Julien Demarque. Rapport de stage de fin d'études effectué à l'association Arcanne.



Sur les façades exposées aux pluies battantes, le bardage permet une protection efficace de la paille.



Dans les murs enduits sur paille, les boîtiers électriques sont vissés sur l'ossature ou sur des taquets en bois. Au final l'enduit doit couvrir derrière ces boîtiers. Important, les profils « goutte d'eau » pour les appuis de fenêtre.



Les points techniques importants

Gestion des bas de murs

- avoir entre le sol extérieur et la première pièce de bois une hauteur d'au moins 20 cm.
- disposer entre le soubassement maçonné et la base de l'ossature bois un film anti-remontées capillaires.
- isoler thermiquement le soubassement.

Exemple de base de mur avec ossature décentrée côté intérieur

- 1 - Paille posée sur chant.
- 2 - Montant d'ossature fixé sur la lisse basse à l'aide d'équerres et de pointes spécifiquement dimensionnées.
- 3 - Lisse basse solidarifiée au mur de soubassement à l'aide de fixations dont le type, la taille et la fréquence dépendront du bâtiment à supporter.
- 4 - Liteaux fixés aux montants d'ossature tous

les deux rangs de bottes.

5 - Mur de soubassement. Son dernier rang est fait par un élément de chaînage (brique, meulon en forme de U) pour permettre un bon ancrage de l'ossature bois.

6 - Enduits.

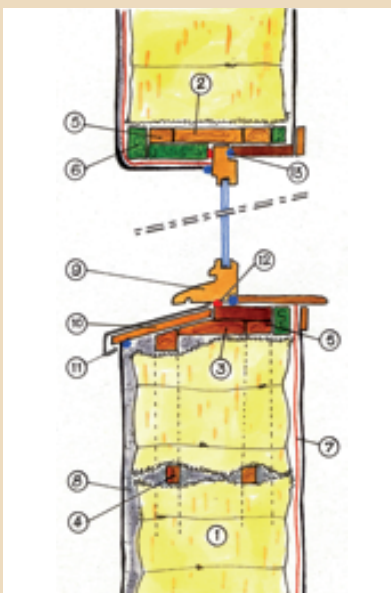
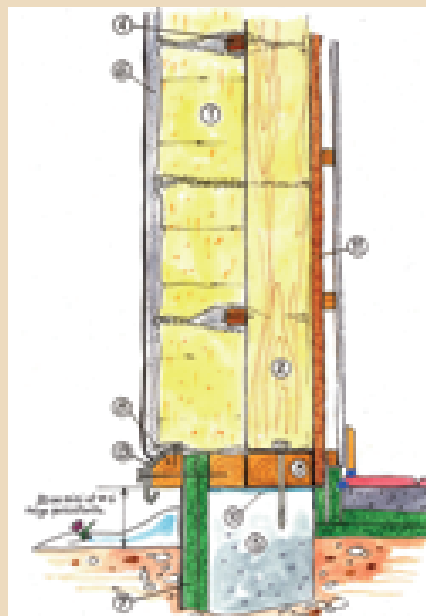
7 - Isolant extérieur (pour éviter toute condensation en bas de mur) en panneau (souvent liège) ou blocs isolants (aggloméré de pierre ponce, brique alvéolaire...) recouverts d'un enduit hydrofuge ou d'une membrane plastique.

8 - Bois (classe III) rapporté pour support du profil « goutte d'eau ».

9 - Profil « goutte d'eau » pour aider à évacuer l'eau ruisselant sur les murs.

10 - Membrane anti-remontées capillaires (utilisez un film bitumineux épais, bannissez les produits meilleur marché et non adaptés comme la bâche agricole, les films pare-pluie ou encore les membranes en polyane).

11 - Voile contreventant réalisé en panneaux de bois type OSB, ou à l'aide de planches obliques...



Gestion des tours de baies

C'est l'une des parties les plus complexes à gérer. Sur les façades bardées, il suffit d'appliquer les solutions habituelles propres à tout système ossature bois*. Sur les façades enduites, cela devient assez vite complexe... Chaque professionnel a sa recette, mais aucune d'entre elles ne se détache du lot par sa simplicité ou sa rapidité d'exécution. Voici tout de même un schéma de principe relevant les points singuliers à ne pas sous-estimer.

Schéma de principe d'une fenêtre avec ossature centrée

- 1 - Paille posée sur chant.
- 2 - Linteau (adapté à la largeur de la baie).
- 3 - Traverse support de baie.
- 4 - Liteaux. L'espace entre liteaux sera laissé libre ou comblé d'un mélange isolant (terre-paille par exemple).

5 - Pièces de bois rapportées pour support habillage de baie.

6 - Panneau fibré (Fibralith, Ecolith...) servant d'interface bois/enduits.

7 - Trame posée dans la couche médiane de l'enduit au niveau des changements de support.

8 - Enduit.

9 - Fenêtre.

10 - Tablette en panneaux de bois qualité extérieure.

11 - Habillage métallique terminé par un profil « goutte d'eau ».

12 - Joint compribande pour l'étanchéité à l'air.

13 - Joint souple (silicone, pâte de liège...) pour l'étanchéité à l'eau et/ou à l'air.

* Le site www.cndb.org est une bonne entrée en matière dans le sujet de la construction bois.

Assurer la paille

En France, si la liberté laissée aux autoconstructeurs d'innover est grande, elle se restreint pour les professionnels. Tenus d'accompagner leurs prestations de garanties spécifiques (biennales, décennales...), ils ne peuvent s'affranchir de l'approbation de leur assureur... Et la paille, ils ne connaissent pas (encore) vraiment les assureurs !

Que vous soyez autoconstructeur ou que vous fassiez travailler des professionnels, votre chantier, et les personnes qui y participent, doivent être assurés dès les premiers coups de pioche. Le fait d'utiliser de la paille comme matériau de construction ne semble

pas un frein pour ce genre d'assurance. Dans le cas contraire, le Réseau français de la construction en paille peut vous apporter son soutien ou ses conseils pour vous diriger vers des assureurs plus ouverts. Une fois le chantier terminé, les assurances habitation, multirisque habitation, etc. sont également accessibles aux maisons en paille. Vous aurez peut-être besoin de présenter à votre assureur un peu de littérature sur le sujet, et pourquoi pas ce dossier, pour qu'il se rende compte que ces constructions existent bel et bien. Passé cette étape, vous devriez pouvoir signer un contrat, sans frais supplémentaires. Et comme pour tout contrat, lisez bien

avant de signer pour ne pas passer à côté d'une clause particulière limitant les garanties !

Côté assurances professionnelles, le chemin est plus complexe. S'il y a dix ans les réponses étaient systématiquement négatives, désormais il n'est pas rare de voir des assureurs couvrir leur adhérent, artisan ou architecte sur des projets paille. Deux faits facilitent néanmoins cet engagement : si un bureau de contrôle suit et s'engage sur le projet (mais le coût de cette intervention n'est pas adapté à la construction individuelle) et/ou si le professionnel est reconnu comme techniquement très compétent par son assu-

reur. Sachez que si la paille est seulement utilisée comme remplissage et ne fait office ni d'élément porteur ou contreventant, ni de support d'enduit, les assureurs seront moins réticents. En outre, sur un bâtiment « en paille », l'ensemble des éléments connus, ossature, baies, finitions... ont accès aux garanties professionnelles comme dans n'importe quel autre bâtiment. Vous trouverez de nombreuses informations complémentaires sur les assurances et la paille dans le bulletin *Info Paille* n° 3, téléchargeable sur le site Internet des Compaillons.

C'est pour automatiser l'engagement des compagnies d'assurances, condition nécessaire pour permettre à ce matériau performant qu'est la botte de paille de sortir de la confidentialité, qu'il est important de la faire reconnaître officiellement comme matériau de construction. Sans cela, son utilisation restera anecdotique car nécessitant des procédures souvent fastidieuses pour les professionnels et les chantiers publics.

Reconnaissance officielle comme matériau de construction

En France, de nombreuses possibilités sont offertes pour reconnaître officiellement un nouveau produit. Les procédures du CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment), Avis technique « produits », Appré-

ciation technique expérimentale et Pass Innovation, apportent une réponse à l'investisseur qui souhaite faire reconnaître, pour son compte, un matériau ou un équipement qu'il met sur le marché. C'est le cas de la botte de paille qui serait produite par tel ou tel acteur, mais cette approche « individuelle » ne satisfait pas la plupart des acteurs de la paille qui souhaitent la jouer plus « collectif ». Leur objectif, comme celui des financeurs qui les accompagnent, étant de faire reconnaître toute botte de paille, à partir du moment où elle correspond à un cahier des charges fixant les caractéristiques qu'il lui faut remplir pour conjuguer performance et durabilité.

Il existe pour cette approche « collective » d'autres procédures : en théorie l'Avis technique « procédé » (également CSTB). Un gros travail a été fait sur cette piste autour du projet communal de construction de deux bâtiments collectifs de huit logements à Massat (Ariège). Mais cette piste vient d'être abandonnée. Le fait d'utiliser un matériau aussi « sommaire » ne semblait pas pouvoir être accepté par la majorité de la commission qui instruisait les dossiers. De fait, le projet Massat se tourne aujourd'hui vers la procédure dite « Enquête technique nouvelle » qui, contrairement à l'Avis technique, ne semble être validée qu'à partir de considérations techniques.

En parallèle, un autre groupe des Compaillons travaille sur la rédaction d'un docu-

La botte de paille n'est pas réservée à la construction neuve. En rénovation, on l'utilise comme isolant extérieur.



La paille en résumé

Ce que l'on sait :

- La botte de paille est un véritable isolant thermique. Peu onéreuse, avec un écobilan exceptionnel, elle permet de réaliser des parois très performantes.
- Son comportement au feu, au tassement, aux rongeurs et autres attaques (insectes...) la rend plutôt moins sensible que les isolants conventionnels (polystyrène, laines minérales, etc.).
- Son comportement à l'eau et à l'humidité est de plus en plus finement connu. Relativement sensible comme la plupart des matériaux d'origine végétale ou les laines minérales, sa mise en œuvre requiert un grand soin, principalement dans le choix et la réalisation des parements.
- La connaissance du matériau « botte de paille » est réelle, y compris dans des utilisations plus ambitieuses que comme simple isolant de remplissage : paille support d'enduits, paille porteuse...
- Sauf rares exceptions, il n'est pas plus complexe pour un particulier d'assurer sa maison « paille » que si elle était isolée par un autre matériau.

Ce qui pose encore problème :

- Les professionnels restent peu nombreux à utiliser des bottes de paille faute de règles de mise en œuvre clairement codifiées et faute d'avoir un feu vert facile de leurs assureurs.
- Le fait d'avoir un matériau pouvant varier d'un producteur à un autre (type de chaume, densité, dimensions, humidité) additionné à la grande diversité des techniques complexifie la reconnaissance du matériau et la fiabilisation de la filière.
- Le monde agricole, principal bénéficiaire à terme d'une filière « paille-construction » ne se manifeste toujours pas...



Une enquête sur les maisons en paille en France

L'association bretonne Empreinte a commencé depuis juin 2007 un recensement des maisons en paille en France. Elle a déjà répertorié plus de 460 projets réalisés ou en cours de construction. L'objectif est simple : disposer de statistiques sur les maisons paille en France, et rassembler le maximum d'information sur les pratiques utilisées. Voici une sélection des principaux résultats intermédiaires, l'ensemble étant disponible sur le site de l'association :

La moitié des projets recensés est encore en construction. Une grande partie (80 %) fait intervenir 50 % ou plus de part d'autoconstruction. Les finitions intérieures sont ainsi réalisées à 92 % par les autoconstructeurs, tout comme la pose des bottes de paille (87 %) et les finitions extérieures (82 %). Pour la moitié des projets, la paille provient de moins de 10 km.

À 75 % les constructions sont réalisées en remplissage paille d'ossature porteuse en bois (dont CST). Les autres techniques uti-



Le plus grand bâtiment paille en cours de réalisation, celui du centre de formation Le Gabion. 1 000 m² pour un coût estimé à 500 000 euros.

lisées sont celle du Greb (11 %) et celle des murs porteurs paille type Nebraska (4 %). Le budget moyen constaté est de 116 000 euros (hors terrain et part d'autoconstruction entre 50 et 80 %). Sachant que la surface moyenne des projets recensés est de 140 m².

La moitié des porteurs de projets ont suivi préalablement une formation (de quelques

jours à quelques semaines) sur la mise en œuvre de la botte de paille. Et 17 % des projets recensés (soit 53 constructions actuellement) sont ou ont été le lieu de formations et/ou de chantiers participatifs.

Vous connaissez ou êtes vous-même un habitant de maison en paille. Participez à cette grande enquête via le site www.habitat-ecologique.org



ment plus générique et ambitieux : les règles professionnelles. C'est à terme la procédure qu'il faut pour la construction paille en France...

La multiplication des initiatives de ce genre ne pourra qu'être positive pour faire sortir au grand jour la construction paille et lui laisser enfin prendre la place qu'elle mérite sur notre territoire. Gageons que les sphères du sacro-saint Bâtiment français réservent un accueil de plus en plus favorable aux travaux réalisés par les différents acteurs de la filière. Acteurs qui, aussi nombreux qu'ils soient à se retrouver les manches, regrettent l'absence dans ces travaux du principal bénéficiaire du développement d'une filière paille-construction : le monde agricole...

(1) De nombreuses structures proposent des chantiers participatifs, des stages courts, des visites de maisons en paille. Voir contacts p. 33 et p. 55.

(2) Suivi expérimental des maisons de Montholier. montholier.ce@wanadoo.fr

(3) Règles CB 71, Eurocodes 5 et DTU 31.2. Concernant l'hygrothermique des murs, il est néanmoins impossible de conseiller les recommandations du texte de référence encore en cours pour les bâtiments bois en France, le DTU 31.2. Ce texte n'intègre pas encore le principe de Glaser qui date pourtant de 1949, alors que nos voisins européens le remplacent par une approche beaucoup plus fine définie par la norme internationale ISO 15026 (devenue d'ailleurs française récemment : NF EN 15026).

(4) Le Gabion mène actuellement de nombreuses expérimentations sur le plâtre et notamment sur son utilisation sur botte de paille. Plus d'informations également sur le site www.platre.com

(5) Si le μ (coefficient de perméabilité, sans unité) est donné pour chaque matériau, pour chaque produit, la grandeur à retenir est le « Sd ». Elle est obtenue en multipliant l'épaisseur (en mètre) du matériau à son coefficient μ .

Bibliopaille

La botte de paille, matériau de construction
Jérémy Coudel et Samuel Courgey,
sortie prévue début 2009.

Proposition de repères largement documentés (photos, schémas techniques...) pour des bâtiments « paille » performants et durables. Disponible prochainement auprès de l'association Arcanne : arcanne.ass@wanadoo.fr
www.arcanne.fr.st

La conception des bâtiments en bottes de paille
(titre provisoire)

État de l'art des structures porteuses en bottes de paille outre-Atlantique.

Traduction française de *Design of Straw Bales Buildings* de Bruce King, à paraître prochainement et en pré-vente aux éditions La Maison en Paille. Tél. 05 45 66 27 68
www.lamaisonenspaille.com

Montholier – Une expérimentation Développement Durable / FFB (Titre provisoire)

À paraître début 2009 aux éditions SEBTP. Présentation du chantier expérimental de Montholier - suivi d'un état de l'art des constructions « paille » et « chanvre ». www.sebtp.com

Entre paille et terre

Tom Rijven, éd. Goutte de Sable, 2008, 29 €. Recueil photographique et technique de la technique de construction cellule sous tension (CST). Une large place est également faite à la réalisation des enduits terre. Tél. 02 43 12 24 94 / www.gouttedesable.fr

Petites bottes de paille

Traduction française de *Small Strawbale* de Bill Steen, Athena Swentzell Steen, Wayne J. Bingham et adapté par André De Bouter. Présentation de petites maisons réalisées en bottes de paille. Éditions Goutte de Sable, 2008, 29 €. Tél. 02 43 12 24 94 / www.gouttedesable.fr

Bâtir en paille

André De Bouter, éd. La Maison en Paille 2006, 25 €. Tél. 05 45 66 27 68
www.lamaisonenspaille.com

Construire son habitation en paille

V. Brossamain et J-B Thévard, 2005, 16 €. Ouvrage décrivant la réalisation d'une maison paille selon la technique du Greb. Fax : 08 26 67 66 19 / www.approchepaille.fr

Construire en paille aujourd'hui

Herbert et Astrid Gruber
Éditions Terre Vivante, 2003, 16,50 €. Tél. 04 76 34 80 80 - www.terrevivante.org

DVDs paille

Une maison en paille, Boris Claret, 2008, 17 €. Production et diffusion : Les films de la Castagne. 82' sur la construction d'une maison en paille. Point de vue des artisans et futurs habitants. En bonus : 150 pages de fiches techniques en fichier pdf. En vente sur le site www.compailleurs.fr

Écoconstruire, éd. Goutte de Sable, 2008, 29 €. Film didactique de 90' présentant les différentes étapes de réalisation d'un habitat de 100 m² pour moins de 80 000 €. Disponible sur www.gouttedesable.fr

Les principaux acteurs : sélection d'associations françaises

Nous ne pouvons malheureusement pas citer l'ensemble des acteurs. Pour avoir une vue plus exhaustive, consulter le site des Compailleurs dans la rubrique Partenaires et adhérents.

Réseau français de la construction en paille / Les Compailleurs

www.compailleurs.fr
Site Internet du réseau... donc la porte d'entrée du sujet. Il fourmille d'informations : bulletin *Info Paille*, nombreux blogs paille référencés, listes de professionnels et d'associations, forum Internet, etc.

Amazonails

Structure britannique qui propose des formations en France sur le sujet de l'humidité et de la construction paille. Prochaines sessions fin mars 2009 dans la Drôme. Certains modules sont réservés aux professionnels. 06 17 42 10 50 ou noe@anarchitecture.org
<http://amazonails.org.uk/stagehumidite.html>

Approche paille

Association militante de promotion et de formation à la construction en paille. Technique du Greb
www.approchepaille.fr

Arcanne

Collectif de réflexion sur divers sujets liés à l'écoconstruction. Recherche, échanges techniques, communications (cours, écrits, conférences...). arcanne.ass@wanadoo.fr
www.arcanne.fr.st

Botmobil

Association pour la valorisation de la construction en fibres végétales et terre. Chantiers participatifs en accompagnement à l'autoconstruction. www.botmobil.org

Collectif au pied du mur

Association spécialisée dans la formation paille et enduit sur chantier. <http://collectifaupieddumur.org>

Écocentre Pégase-Périgord

Lieu de formation et de démonstrations pédagogiques. www.ecocentre.org

Empreinte

Échange entre particuliers, journées de visites, chantier participatif, réalisation de l'enquête nationale maison paille. www.habitat-ecologique.org

La Maison en Paille

Association pionnière en France, spécialisée dans la formation et l'édition d'ouvrages. Site Internet très riche en information. www.lamaisonenspaille.com

Le Gabion

Centre de formation sur l'écoconstruction et la restauration-rénovation cumulant 16 années d'expérience.

Nombreuses formations dont construction paille et enduit terre, chaux et plâtre. Module réservé aux professionnels. Formation longue et diplômante « ouvrier professionnel en restauration du patrimoine ». Chantier paille permanent.

Site Internet très riche en information
<http://gabionorg.free.fr>

Entreprises citées

Abricop

Pratz (39). Coopérative de construction - Neuf et rénovation. Tél. 03 84 42 39 14 - scop.abricop@laposte.net

Atelier Werner Schmidt

Architecte suisse spécialisé dans la construction en grosses bottes de paille. Tél. 00 41 81 943 25 28
www.atelierwernerschmidt.ch

Bâti Nature

Vion (07). Préfabrication des murs ossature bois et remplissage botte de paille. www.bati-nature.fr - Tél. 06 72 83 13 76

Ce3

Malvezie (31). Cabinet conseil - Assistance M.O. Tél. 05 61 94 36 86 - cecubeo1@yahoo.fr

Éliosystem

Lombes (32). Préfabrication de murs ossature bois prêts à remplir en bottes de paille. Tél. 05 62 07 20 43 - www.eliosystem.com

FTN Concept

Spécialisé dans la construction en petites et grosses bottes de paille porteuses. Tél. 06 70 66 53 82
contact@ftn-concept.com
www.ftn-concept.com

Naturel Home

Le Puy-en-Velay (43). Préfabrication de murs ossature bois prêts à remplir en bottes de paille : les Modulopaille®. Tél. 04 71 09 16 27 - www.naturel-home.fr

Tout Naturellement

Meyrargues (13). Projet en cours d'importation de Slovaquie d'ossature bois remplie de bottes de paille. Cible : bailleurs sociaux. Tél. 04 42 63 39 37 - www.toutnaturellement.fr

Écogîte du chant d'éole

Pannecé (44). Gîte de France rénové en passif, isolation extérieure en botte de paille, dans propriété de 2,5 ha, refuge LPO. Ouverture mai 2009. Tél. 02 40 97 27 19 ou Courriel : testard.cris@wanadoo.fr