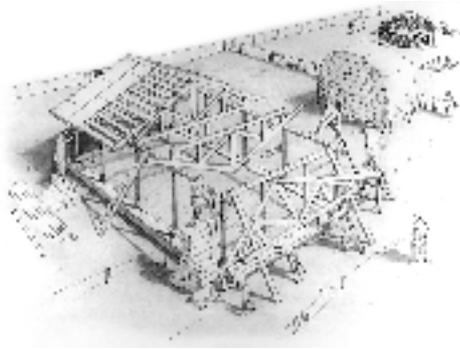


# "LA CONSTRUCTION EN BOTTES DE PAILLE"

- Guide Illustré - Version 1.02



Ecrit par:

**S.O. MacDonald**

Version française réalisée par:

**'La Maison en Paille'** ass. loi 1901

[www.lamaisonenspaille.com](http://www.lamaisonenspaille.com)

Illustré par:

**E. Purev-Erdene**

Original réalisé par:

**Builders Without Borders - BWB**

[www.builderswithoutborders.org](http://www.builderswithoutborders.org)



## Préface

### **Remerciements:**

Je remercie profondément tous ceux qui m'ont aidé à traduire ce document: Aurélien Moinier; Eymeric Magnant-Gaillou, Sylvia Wolfer; Jackie et Françoise Crémoux; Coralie de Bouter.

### **Quelques conseils:**

- absorbez un maximum d'information (n'ayez pas peur de l'anglais !)
- suivez un ou plusieurs stages avant de commencer à bâtir en paille. (il y a beaucoup de temps à gagner et d'erreurs à éviter)
- cultivez votre patience, car aller vite revient toujours cher.
- vérifiez les références et soyez clair et précis lorsque vous travaillez avec des professionnels.
- surtout, surtout, commencez avec un petit projet, comme un atelier ou une cabane pour qu'un projet de rêve ne devienne pas un cauchemar.

J'espère que ce document vous aidera à réaliser vos projets.

Cordialement,

André de Bouter  
La Maison en Paille  
ass. Loi 1901

## Sommaire

Introduction

Un Abri Abordable et Efficace

La Super-Isolation

La Botte de Paille

Préparation du Site

Fondation du Sol

Ossature et Contreventement

Pose du Toit

Monter les Murs en Bottes de Paille

Enduire Les Bottes de Paille

Mur Porteur

Approches Alternatives

Finition

## Introduction

Depuis longtemps déjà, se fait ressentir le besoin d'un guide de base concis et illustré sur l'essentiel de la construction en bottes de paille. Ce document est ma tentative pour pallier à cette lacune. J'ai eu la chance de passer sept mois à aider à enseigner les techniques de ce type de construction, aux professionnels et novices originaires de toute la Mongolie. Cette publication est originellement issue de cette formation. Pour m'avoir aidé à réaliser tout cela, mes remerciements les plus sincères vont à Scott Christiansen, Directeur de l'ADRA de Mongolie : (l'Agence d'Aides au Développement Adventiste), E.Purev-Erdene, architecte et artiste reconnu de Ulanbaatar en Mongolie et Kelly Lerner, amie et architecte de Berkeley, Californie.

Bien que cette technique d'utilisation de paille, comme matériau de construction, trouve ses racines dans les prairies du Nord des Etats-Unis, l'intérêt qu'elle suscite s'est rapidement répandu dans de nombreuses régions productrices de grains dans le monde, avec un enthousiasme grandissant. Le besoin de publier des informations accessibles à tous, même à des lecteurs non anglophones, se fait d'autant plus ressentir. J'ai donc rédigé ce livret de façon à ce qu'il soit facilement traduisible. De plus, l'utilisation d'icônes numérotées, dans certains paragraphes, oriente le lecteur vers de larges dessins ou croquis détaillés. Une nouvelle organisation, baptisée Builders Without Borders, (BWB : Les Bâisseurs Sans Frontières) est née, à la suite d'un rassemblement de personnes animées par les mêmes sentiments d'espoir, à Kingston au Nouveau-Mexique. BWB est un réseau international de bâtisseurs utilisant des matériaux naturels. Elle crée des partenariats avec des communautés et organisations à travers le monde pour construire des logements abordables, à base de matériaux locaux, afin de travailler, ensemble, pour un futur durable. D'autres publications de BWB seront diffusées sur le site web de BWB [www.builderswithoutborders.org](http://www.builderswithoutborders.org).

....Stephen Macdonald, Gita, New Mexico, décembre 1999.

## Un Abri Abordable & Efficace

### Recherche d'un Toit

Un des besoins fondamentaux de l'homme (en fait, un de ses droits fondamentaux) est celui de posséder un abri. Sans être suffisamment protégés contre les éléments, les hommes ne peuvent pas survivre longtemps. Pour un nombre de personnes, sans cesse grandissant, chercher un abri minimal est devenu un challenge délicat, au même titre que de trouver suffisamment de nourriture et d'eau potable. De plus, peu de régions ont une exploitation rationnelle et encore moins équitable, des ressources durables. Avec l'expansion de la population humaine, beaucoup de systèmes naturels mondiaux commencent à en ressentir les effets négatifs.

### De Simples Abris de Paille

Face à cette augmentation de la demande, la construction en paille offre des avantages sérieux, la paille étant un matériau de construction qui se renouvelle tous les ans de façon relativement abondante. Dans la plupart des régions productrices de grain, on se débarrasse de la paille, (les tiges longues et creuses des plantes céréalières telles que le blé, l'avoine, le riz ou l'orge) car elle est considérée comme un déchet qui est souvent brûlé. Rien qu'aux Etats-Unis, environ cinq millions de maisons de paille, de taille modeste, et super isolées, auraient pu être construites, avec ce qui est brûlé chaque année: quel gâchis!

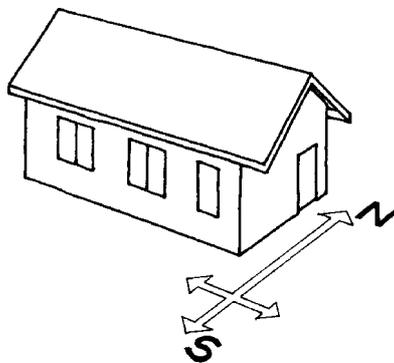
Les maisons n'ont pas besoin d'être trop chères ni trop compliquées à construire afin qu'elles soient à la portée des plus démunis. Il y a de multiples façons de construire des maisons simples et à la fois élégantes, utilisant des bottes de paille. Lorsqu'elles sont bien conçues, les maisons de paille se révèlent être des économiseurs d'énergie, donc d'argent (économie pour la construction et pour l'utilisation). Il en résulte une utilisation minimale des combustibles, un facteur important dans beaucoup de régions du globe et pour bon nombre de budgets familiaux.

## Règles de Base pour dessiner Votre Maison

Les maisons économes en énergie et simples à construire, faites en bottes de paille, peuvent avoir beaucoup de formes. Elles vont d'une structure temporaire et rapide, comme celles utilisées pour les zones sinistrées, au système d'isolation par l'extérieur, autour des structures déjà existantes, jusqu'aux structures permanentes.

Pour faire des plans d'une maison en paille, adaptés aux besoins et à la situation locale, gardez à l'esprit ces **règles générales** :

- Déterminez l'espace dont vous avez réellement besoin:
  - Quel est le budget réaliste?
  - Gardez une taille modeste et une conception simple, de façon à ce que ce soit facile à construire et que cela utilise le moins de matériaux possible.
  - Un projet simple permet, aux gens pourvus de bon sens, de quelques compétences en construction et d'un minimum d'outillage, de construire leur propre maison.
- Isolez l'extérieur du bâtiment avec des bottes et combinez cela avec de l'inertie à l'intérieur.
- Profitez au maximum de l'énergie naturelle du soleil en étudiant l'implantation et la conception de la façade sud (ou nord, sud de l'équateur).
- Intégrez le plus grand nombre de vos fenêtres à cette façade pour capturer la luminosité du soleil. La surchauffe de votre maison l'été (par fenêtres accumulatrices de chaleur au Sud et Ouest) est évitée par les appentis, arbres, marquises, volets, etc. L'utilisation de volets, rideaux ou stores (isolés) est conseillée pour diminuer la perte de chaleur la nuit.
- Utilisez des matériaux locaux, de préférence le moins travaillés possible comme des rondins de bois et de la terre. C'est non seulement du bon sens économique mais aussi du bon sens écologique.



## La Super-Isolation

### Deux Approches pour Conserver la Chaleur (ou la fraîcheur)

Un bâtiment **super-isolé** maintient des températures intérieures confortables grâce à la capacité supérieure de ses matériaux d'isolation à résister à la déperdition de chaleur.

Cette déperdition est souvent évaluée quantitativement par un indice de résistance ou valeur R ( $R = m^2 \cdot ^\circ C / W$ ) qui, lorsque vous divisez 1 par R devient U ou valeur de conductivité.

**Au contraire**, un bâtiment non isolé avec des murs épais, tels que des murs moellons/pierre de taille, utilise son **inertie** élevée pour conduire, stocker et relâcher doucement la chaleur ou fraîcheur.

**On combine ces deux approches** dans la stratégie "solaire passif" où des éléments de grande inertie tels que des sols en ciment, chaux ou terre, des murs en terre et enduits à l'intérieur d'une enveloppe de super-isolation comme les bottes de paille. Etant donnée la rapidité d'accroissement de la population et l'utilisation des ressources dans le monde, appliquer des stratégies de super-isolation, de 'solaire passif' en gardant les tailles des habitations modestes, peut vraiment faire la différence.

### La paille comme super-isolant

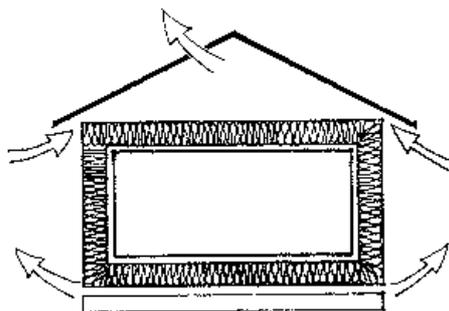
La construction en bottes de paille est un moyen efficace d'être super-isolé (\*) tout en limitant les dépenses, si bien entendu, la mise en œuvre des bottes est réalisée en auto-construction suivant les règles de l'art. On peut comparer un bâtiment édifié en bottes de paille à une bouteille Thermos hermétique qui conserverait de manière efficace la chaleur (ou la fraîcheur) emmagasinée ou produite à l'intérieur.

(\*) Les murs en bottes de paille enduits ont une valeur  $R=6$ . Référence paraissant dans le livre: " L'isolation Ecologique ", page 123, de JP Oliva, Terre Vivante.  $R=6$  est comparable à un mur en agglomérés creux de 20 cm avec une isolation en laine de verre de 25 cm. En général les murs en agglomérés sont isolés avec seulement une laine de verre de 7.5 cm.

Pour bien faire fonctionner votre "Thermos" en bottes, nous vous conseillons de suivre deux **règles de bases**:

**I La maison doit être toute entourée de l'isolation.** Ne laissez pas de trous dans l'enveloppe en bottes (ni entre les bottes). Cela pour minimiser les ponts thermiques (pont thermique = déperdition de chaleur en un endroit peu isolé). Faites en sorte d'isoler votre plafond au moins autant que les murs (gardez le bouchon du Thermos fermé). Isolez bien le sol. Les fenêtres et les ouvertures (réellement des trous dans votre Thermos) doivent être de taille modeste, de bonne qualité, si possible côté soleil et protégées, la nuit, par des rideaux ou volets isolants.

**II Gardez l'isolant sec:** il sera inefficace s'il est mouillé et la paille, tout comme d'autres isolations organiques, peut pourrir, si elle reste mouillée. Protégez la, à l'extérieur, avec une toiture en bon état, ayant, de préférence, un débord de toit. Enduisez les murs ou faites un bardage. Dans des climats de froid extrême, un pare-vapeur (toujours du côté le plus chaud) peut-être conseillé, pour protéger l'isolant contre le flux de vapeur d'eau. Toutefois, malgré vos efforts, une ventilation adéquate est toujours essentielle pour éviter des problèmes d'humidité, surtout autour des fenêtres, fondations, et au grenier.



## La Botte de Paille

### Les Caractéristiques d'une Bonne Botte

Une Botte de qualité pour la construction :

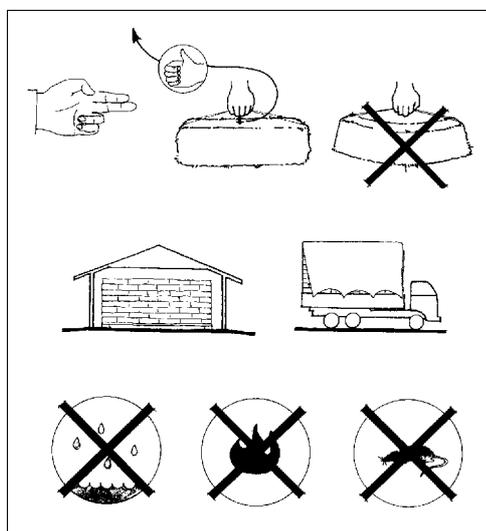
- **Est entièrement sèche.** Une fois en main, une botte sèche semble relativement légère quand on la soulève, s'il n'y a pas d'humidité à l'intérieur (enfoncez profondément les doigts dans la botte pour vous en assurer)
- **Est composé de tiges fortes et flexibles.** Il faut plier et tirer des tiges individuelles pour vérifier la force et la friabilité de celles-ci. Une paille mature, qui a été récoltée et stockée au sec et qui a une couleur dorée, fait les meilleures bottes.
- **Est bien compressée.** Une botte compacte se déforme peu quand on la soulève par ses ficelles (1). (celles-ci sont plus résistantes quand elles sont en plastique).
- **A une taille relativement uniforme.** La taille d'une botte peut varier, notamment au niveau de la longueur. La botte à 2 ficelles mesure environ 45 cm (18 pouces) de large, 35 cm (14 pouces) de hauteur et entre 85 à 105 cm (34-40 pouces) de long. La largeur et la hauteur des bottes dépend de la botteuse(!) et ne sont pas modifiables.

**Conseil:** Vérifiez la taille et la qualité de vos bottes avant de les acheter. Prenez le temps d'éduquer ceux qui produisent vos bottes de construction avant la récolte.

### Manipulation et Stockage correct

Une règle fondamentale de la construction en paille est de garder ses bottes sèches depuis la récolte jusqu'à l'achèvement de l'édifice. Cela demande aussi de les manipuler avec soin et de les stocker à l'abri de l'eau, de préférence dans un entrepôt ou bien sous une bonne bâche.

Prévoyez l'achat et le stockage de vos bottes bien à l'avance. En Mongolie, l'achat et le transport des matériaux vers le site, s'est révélé être un problème sérieux.

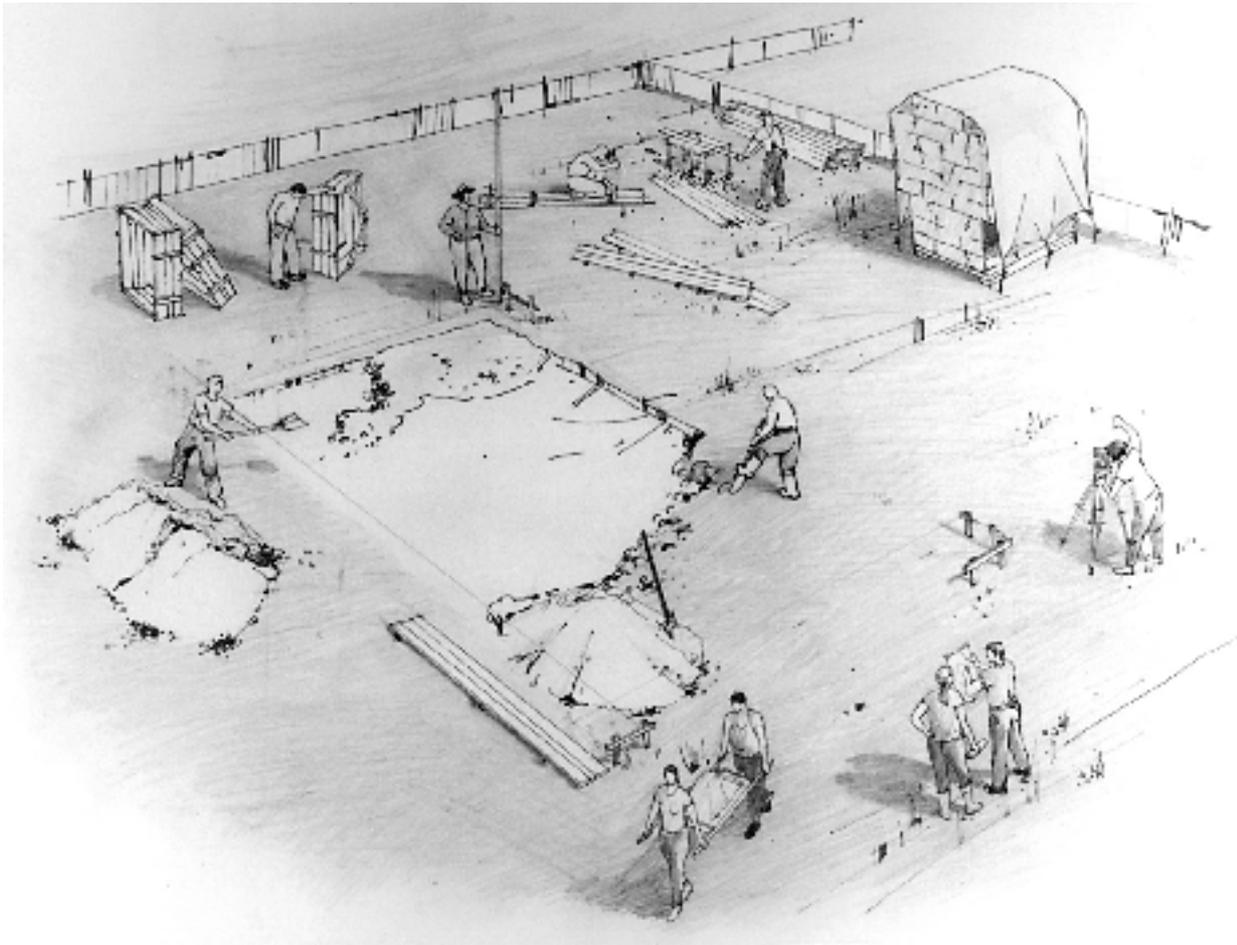


### Les Ennemis de la Paille

Bien que la paille soit bien plus résistante qu'on ne le pense, gardez bien à l'esprit ses trois principaux ennemis :

- **La pourriture.** Des bottes mouillées, dont la composition en moisissure est supérieure à 20%, attirent la pourriture provoquée par l'action enzymatique des champignons.
- **Le feu.** Bien que des bottes bien compressées soient assez résistantes au feu, la paille tombée de ces bottes peut représenter une source d'incendie. Soyez particulièrement prudent quant à la paille perdue dans le grenier et autour des cheminées. Gardez toujours votre site propre et à l'abri des fumeurs et méfiez vous de tous les outils provoquant des étincelles. Ayez toujours un extincteur à proximité.

• **Les nuisibles.** Les rongeurs, les oiseaux et autres insectes peuvent également trouver la paille agréable à vivre mais l'enduit fermera tous les points d'accès aux bottes. Il n'est pas nécessaire, ni très agréable pour les travailleurs de saupoudrer de chaux (pensez à vos poumons) tous les rangs de bottes pour repousser les rongeurs. Il n'y a pas assez de graines dans les bottes de paille pour les nourrir.



## Préparation du Site

### Choisir un site

Un bon site contient les critères suivants :

- Il respecte au maximum la zone environnante et son habitat.
- Il est suffisamment large et relativement plat, afin d'éviter un travail excessif pour le déplacement de la terre issue des fondations.
- Il offre un support fiable pour les fondations qui doivent être hors gel (en général hors gel en France est à -0.60 mètres).
- Il doit permettre un bon système de drainage des eaux. Celle-ci doit s'éloigner de la maison. Il doit procurer une bonne exposition au sud, non obstruée, pour capter la chaleur du soleil (le 'solaire passif').
- Il protège la maison contre des vents froids et autres facteurs climatiques.
- Il donne une bonne vue.

## Préparez le site

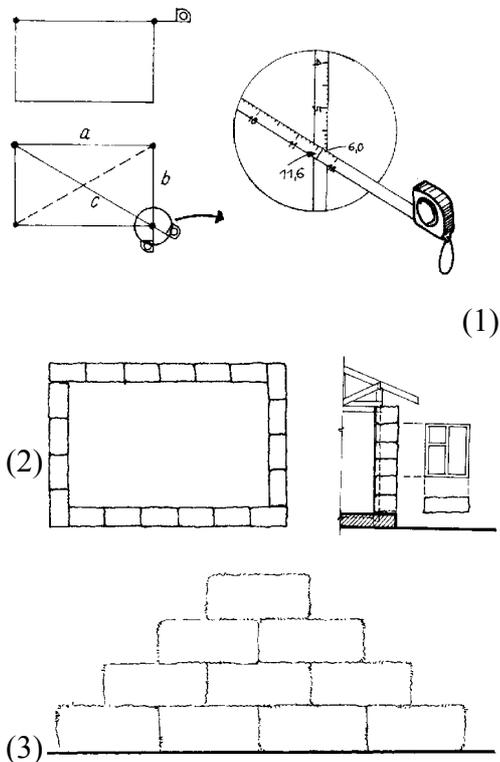
Les étapes de préparation de votre site sont:

1. De délimiter des coins avec des piquets (chaise d'implantation). Pour respecter les angles droits, utilisez le théorème de Pythagore (simplifié par la technique 3-4-5, car  $3^2 + 4^2 = 5^2$ ) voir (1).
2. Une fois le contour marqué au sol, terrasser la terre végétale et niveler une couche de gravier.
3. Re-vérification des piquets d'angles pour plus de précision. Puis, attacher des ficelles (au niveau) pour l'implantation des fondations. Formule de Pythagore  $A^2 + B^2 = C^2$  Par exemple pour une construction de 6x10m:  $36 + 100 = 136 \Rightarrow C = 11.66$  m **Nota** : Les chaises d'implantations doivent être placées à l'extérieur du contour fini de la maison, afin de ne pas avoir à les déplacer lors du terrassement

## Prévoir l'établissement des plans

Un projet couronné de succès demande une mise sur papier et une planification soignée, bien avant de commencer à mettre la main à la pâte. Il est fortement conseillé de demander, à la mairie, pour le permis de construire. En France, celui-ci se compose de plans détaillés, de photos du terrain et d'un formulaire à remplir. Prenez note de ce qui suit **avant** de commencer à construire :

- Faites un schéma directeur et des plans précis et détaillés comportant l'élévation des murs et montrant la mise en place des bottes. Vous pouvez laisser la dimension moyenne de vos bottes décider de la longueur (utilisez un échantillon de 10 balles ou plus), hauteur et largeur des murs. (2). Cela vous évitera d'avoir à reboucher des trous ou à couper un trop grand nombre de bottes et de voir ces bottes raccourcies romprent la résistance des murs (chaque botte doit chevaucher (3) les deux du dessous de façon quasi symétrique).
- Ayez tous vos matériaux et outils de construction (que vous aviez déjà quantifié sur une liste de matériaux), déjà achetés et disponibles sur le site, avant le début de la construction. Assurez-vous qu'ils soient transportés soigneusement et convenablement stockés.
- Commencez la fabrication des cadres de portes/fenêtres, la préparation de charpente,... etc. le plus tôt possible, afin que tout soit prêt, quand vous en aurez besoin.

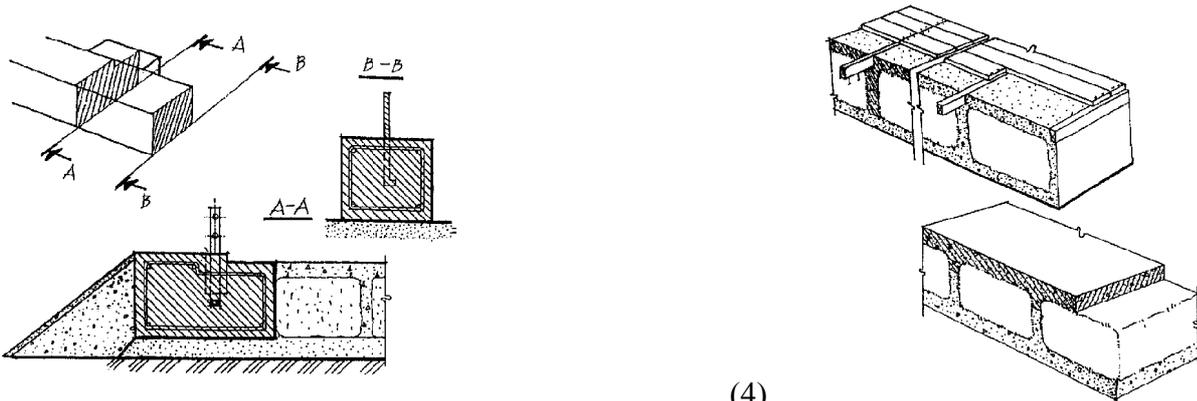


## Fondation et Sol

### Les fondations

Des bonnes fondations créent un support stable et durable tout en protégeant les bottes de l'humidité du sol. Dans le cas d'une ossature bois toutes les charges (dite 'mort' et 'vivant') sont concentrées sur les points où les piliers sont posés. Le rôle principal de l'armature métallique dans un béton est d'éviter l'écartement de ces points de charge, très important dans des zones de fort gel et/ou de tremblements de terre. Les fondations doivent aussi élever, du sol, les murs de paille. Pour ces fondations, il existe de multiples alternatives au béton (le ciment est grand consommateur d'énergie grise, et pas donné non plus!): gravier ou terre pisé, dans une tranchée, par exemple. Cela dépend de l'architecture choisie, renseignez-vous.

Des broches en bambou, bois ou métal sont parfois incorporées dans les fondations pour que le premier rang de bottes soit bien fixé sur place. Dans les structures avec une ossature, où les bottes servent de remplissage et d'isolant et non pas comme éléments porteur, les broches ne sont pas obligatoires. Il est dangereux de travailler autour: couvrez les pour vous protéger. Il est conseillé d'élargir les fondations et d'augmenter la quantité d'armature, dans le béton, sous les poteaux. En Mongolie, nous avons inséré des poteaux bois de 10X10 cm (4\*4in.) dans des fouilles créées lors du coulage des fondations vérifiez le placement de toute armature et raccords métalliques (pour l'ossature et les cadres, dans le cas d'une fondation en béton) avant de couler les fondations.

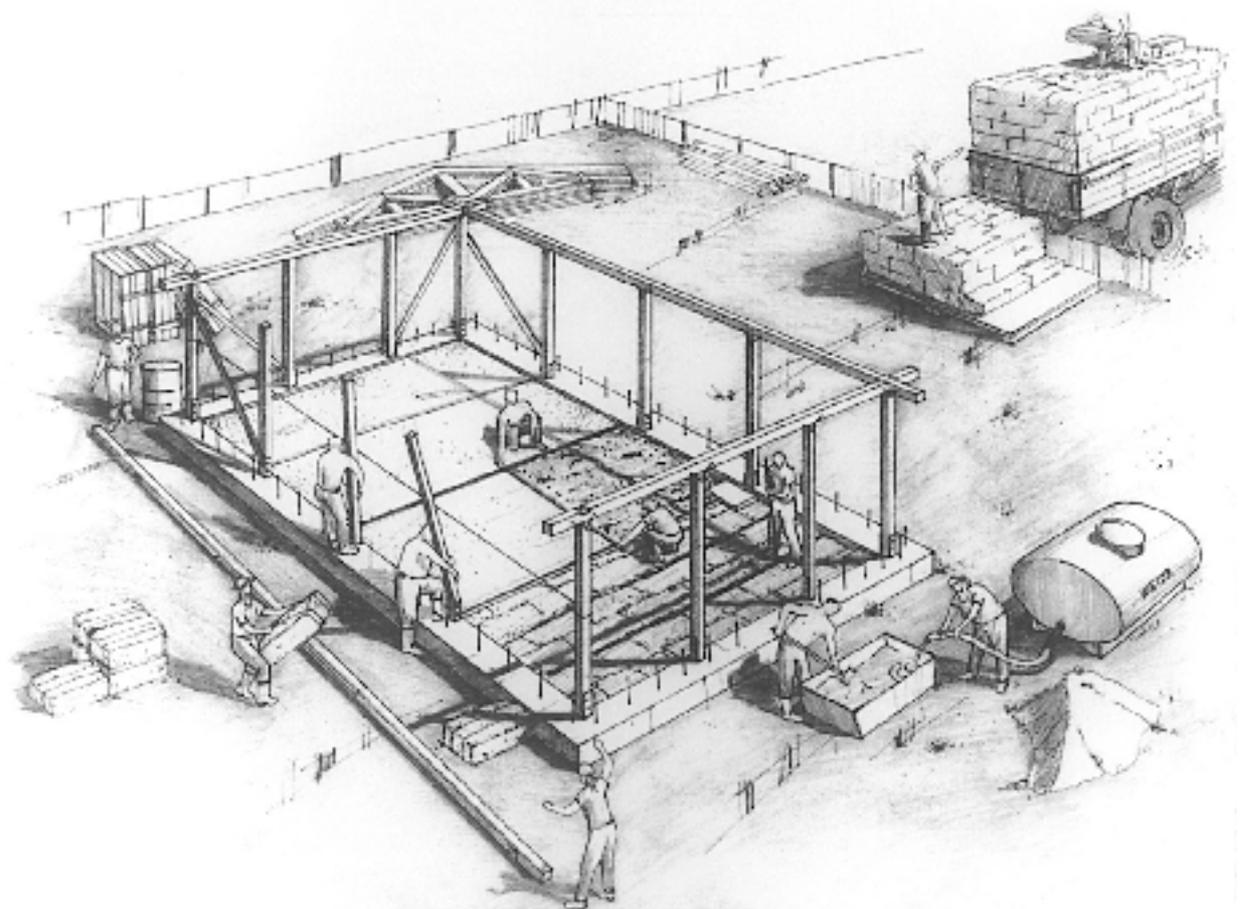
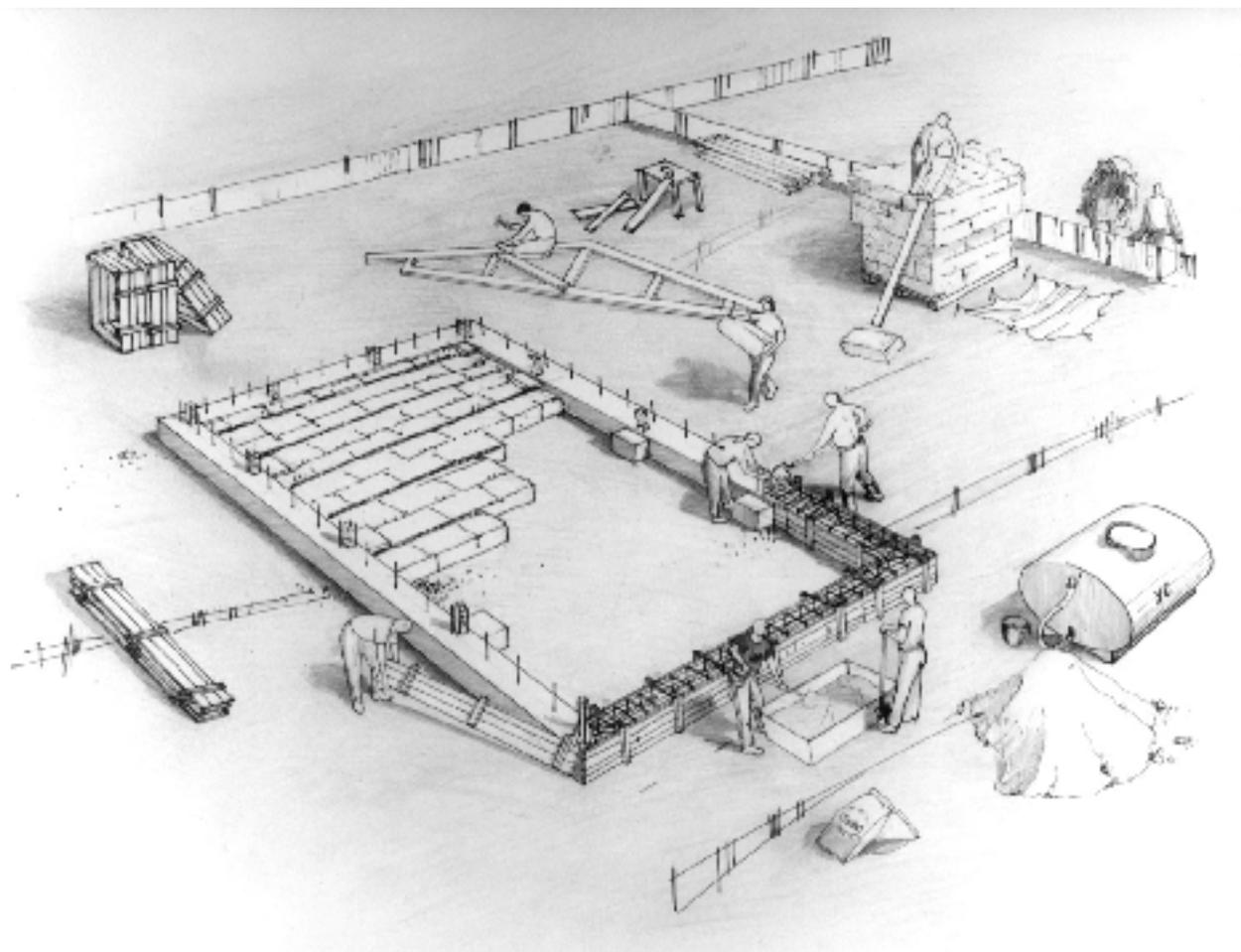


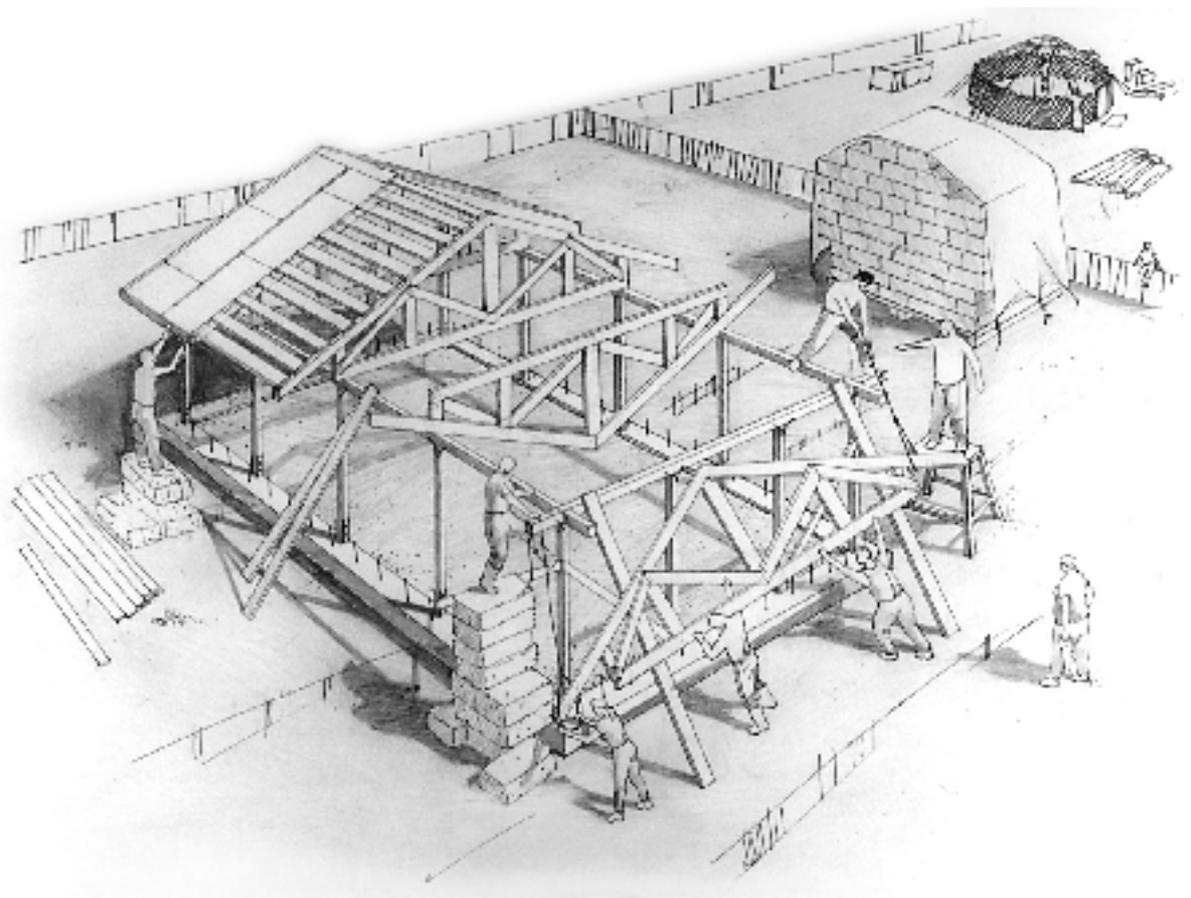
### Un Sol en Paille (! Expérimental ! ) (4)

Dans les climats très froids, les bottes de paille ont été utilisées pour isoler le sol en bois ou en ciment. Cette technique est nouvelle et sa fiabilité dans le temps n'est pas encore connue.

#### Plus d'expériences et d'évaluations sont nécessaires!

L'élément critique, pour ce système, est que les bottes ne soient pas en contact avec le sol (humidité): une technique est de les placer sur un remblai (une couche de graviers, de 10 cm (4in) lavés, non poreux et ventilés) qui permet de bien drainer et d'arrêter la remontée de l'humidité du sol (par action capillaire). Pour des chapes en béton, comme pour un sol en bois, les bottes sont placées à plat avec un espace de 5-10 cm entre chaque botte. Cette espace peut-être rempli avec du gravier. Pour créer une chape, le mélange, chaux-graviers, est coulé directement sur les bottes, avec une épaisseur de 10 cm (4in.) environ. Elle est tirée avec une règle et des guides pour obtenir un sol de niveau. Pour un plancher en bois les lambourdes sont mises entre les bottes (de niveau) sur le gravier. Le plancher, bouveté si possible, est posé sur les lambourdes. Une fois le bâtiment fini, il est bon d'isoler les soubassements, par l'extérieur pour couper les ponts thermiques. En Mongolie, nous avons utilisé 'flyash' (cendre de mouches) couvert d'une couche de béton, mince et en pente, autour de la maison. Il est toujours conseillé de couper le pont thermique que peuvent représenter les fondations.



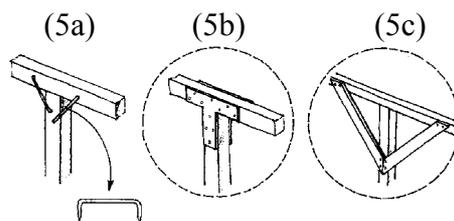


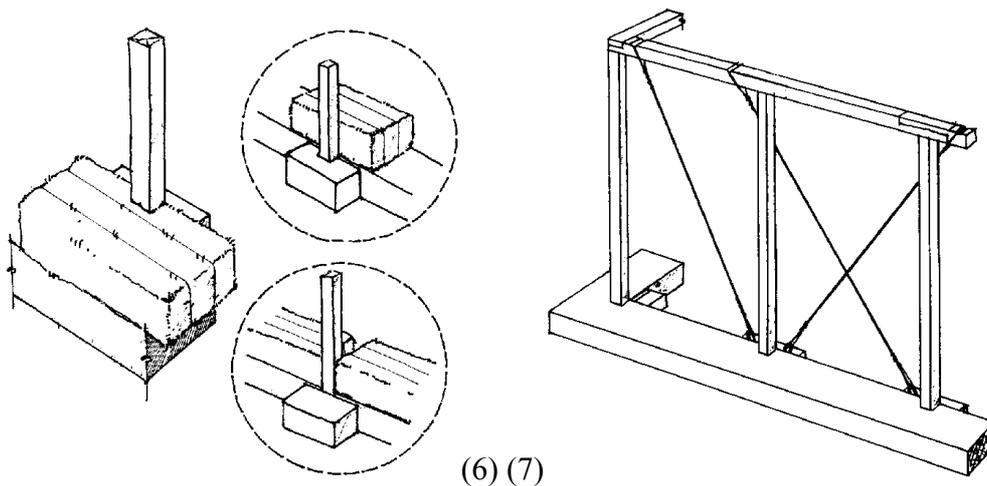
## Ossature et Contreventement

### Monter l'Ossature

Une charpente rigide et porteuse supporte la totalité du poids de l'ensemble du toit et la transmet aux fondations. Une charpente bien conçue rend la structure en ballots de paille à étages multiples possible. Plusieurs principes d'ossatures sont possibles. Ici, nous utilisons du bois de construction de 10X10 cm (4\*4in.), pour les poteaux verticaux comme pour les poutres horizontales.

Les poteaux peuvent être encastés dans le ballot (6 à gauche) ou simplement posés entre les ballots (6 à droite) créant ainsi un espace vide que l'on rembourre avec de la paille ou bien encore positionnés à l'intérieur ou à l'extérieur du mur de ballots ce qui a l'avantage de pouvoir construire le mur sans interruption et en fournissant moins de travail. Les poutres doivent être attachées et renforcées avec soin aux poteaux pour garantir une bonne connexion et un bon contreventement. En Mongolie, nous avons utilisées des agrafes métalliques (5a), comme des tés métalliques (5b) et des planches de bois (5c).





### Contreventements

C'est une bonne pratique que de donner du contreventement additionnel à l'ossature, surtout dans les régions où il peut y avoir des tremblements de terre et/ou de grands vents. C'est la partie diagonale que l'on voit dans une charpente ou ossature bois classique.

Des câbles en métal ont été utilisés (7): pour être efficaces, il faut qu'ils soient bien ancrés aux fondations et à la sablière.

Il est absolument impératif qu'un bâtiment soit contreventé (soit par l'ossature soit par des murs intérieurs et extérieurs) car un mur non contreventé risque de tomber. Des murs en paille peuvent servir pour contreventer, mais il n'existe pas de chiffres ou tableaux pour calculer comme pour le bois par exemple. Une ossature bois peut apporter de la solidité à votre bâtiment et permet également de construire le toit avant les murs. Ainsi vous pouvez remplir les murs en paille sous l'abri de votre toit.

## Pose du Toit

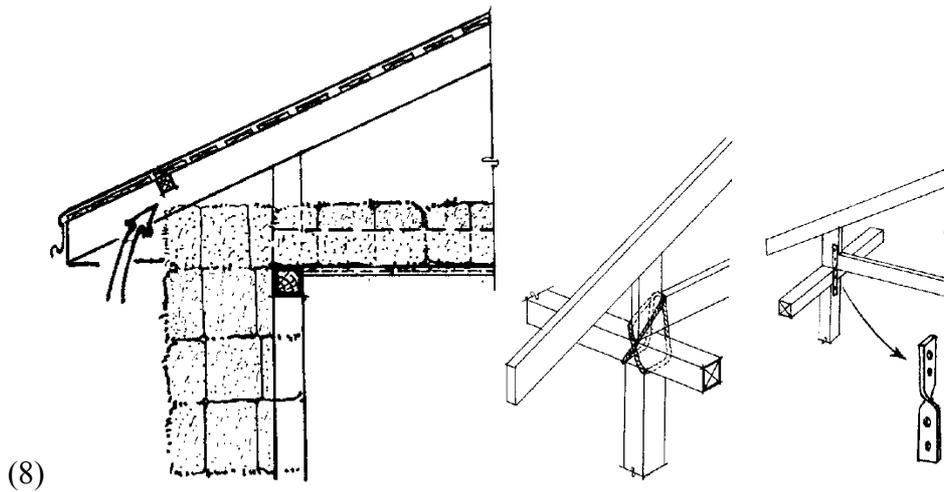
### La toiture

La qualité d'une maison en paille dépend surtout du toit qui la protège. En général, le toit est la partie la plus chère d'une construction, mais n'ayez pas peur, concevez le meilleur toit que vous pouvez. Les fermettes ont de nombreux avantages: la facilité de la pose, l'utilisation efficace du bois; elles laissent flexible, l'aménagement de l'intérieur et de l'extérieur.

La fermette que vous voyez dans le dessin (8) vous laisse assez de débordement de toit pour protéger votre mur en paille et aussi pour aérer les combles. (Attention: ne pas fermer la ventilation avec de la paille en vrac).

La toiture doit être bien fixée à l'ossature, surtout dans les régions de grands vents, d'autant plus que de larges débords de toit sont conseillés. Des tiges de fer ou de solides cordes entrelacées peuvent donner une protection supplémentaire sur les extrémités. Aussi contreventer par-dessous le faîtage (voir page 14).

**Attention**, certaines fermettes peuvent être lourdes et dangereuses, utilisez des cordes, guide-toboggan, l'aide de copains et le calme, pour réussir à terminer ce travail sans danger. (voir page 11)

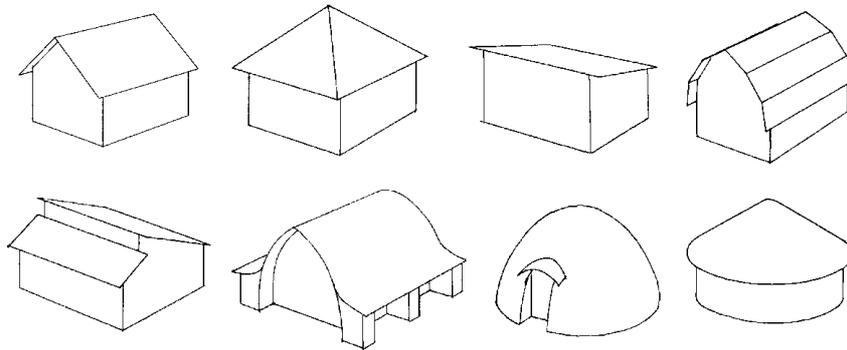


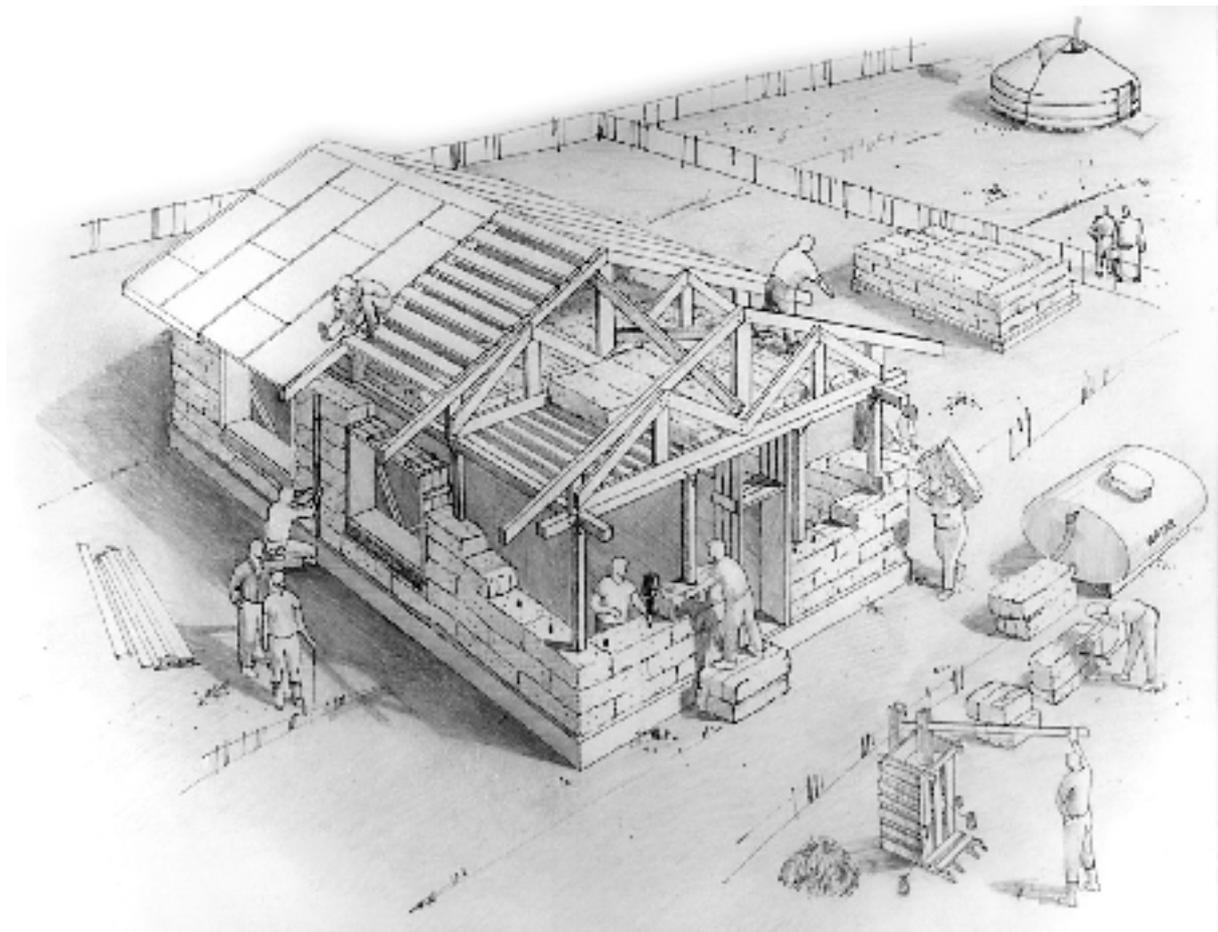
### Couvertures

Beaucoup de types de couvertures sont possibles. Les tôles métalliques sont appréciées, par énormément de personnes aux Etats-Unis, pour leurs durabilités et leurs capacités à capter l'eau de pluie destinée à la boisson. Pour n'importe qu'elle couverture il est impératif qu'une couverture n'aie pas de fuites, surtout si vous isolez le plafond avec de la paille. Pensez également à une lame d'air entre l'isolant et le revêtement du toit (tuile/tôle etc.) pour éviter des dégâts liés à la condensation.

### Formes du toit

Voici ci-dessous différentes formes de toit.





## Monter les Murs en Bottes de Paille

### Construire les murs

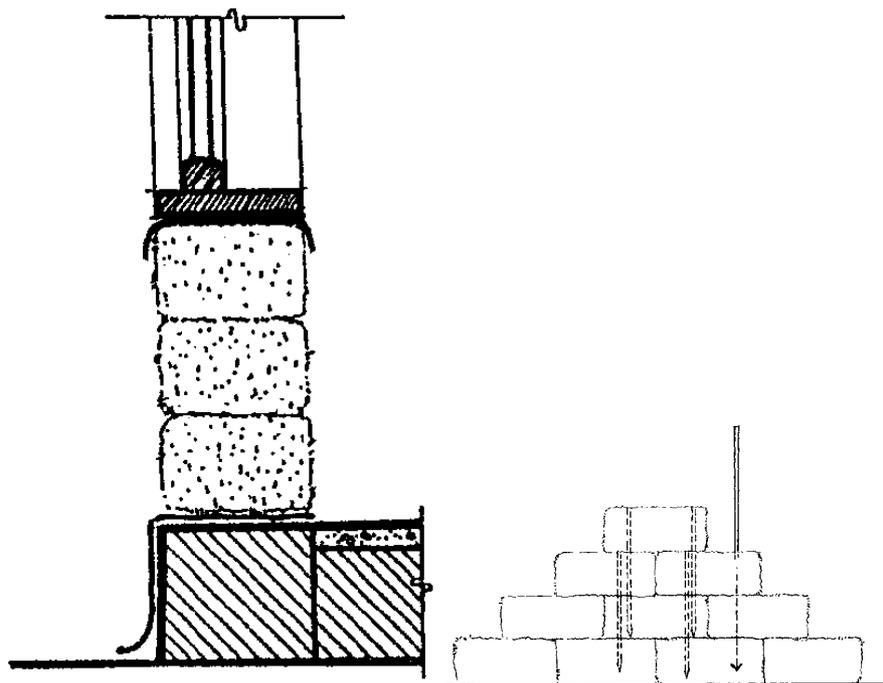
Monter les murs en bottes est l'étape rapide et amusante de la construction en paille.

Je vous propose de:

- Fixez les cadres des portes au fil à plomb et ayez les cadres des fenêtres prêts à être installés avant la montée des murs.
- Installez les guides des coins qui peuvent être permanents si vous utilisez un bardage en bois (dans ce cas vous devrez quand même enduire les bottes pour leur protection au feu et contre les rongeurs).
- Vérifiez, tout au long de la pose du mur, qu'il reste bien d'aplomb.
- Ne rentrez pas vos bottes avec trop de force, vous risqueriez de ne plus garder votre mur droit, d'écarter vos murs et de mettre trop de pression sur les cadres. Il vaut mieux que les bottes soient un peu trop courtes que trop longues, pour qu'elles logent dans l'espace prévu. Vous complèterez les trous avec un peu de paille en vrac; ou, encore, examinez bien votre pile de bottes et cherchez une botte avec une longueur adaptée.
- Recouvrez les fondations avec une matière imperméable pour que les bottes ne puissent pas être en contact avec l'humidité du sol qui remonte par capillarité.
- Déposez les premières bottes à chaque angle de mur, à côté des cadres de portes et fenêtres et continuez vers le milieu du mur.

Vous assurez que chaque rang recouvre bien le rang inférieur en quinconce. Comblez les trous au fur et à mesure que vous montez. Il est essentiel de faire les appuis de fenêtre (en béton, bois ou autre), surtout pour les façades les plus exposées aux intempéries. Placez un papier goudronné (ou

autre produit imperméable) sous chaque appuis de fenêtre juste avant que celles-ci ne soient installées. **C'est l'endroit où le risque d'infiltration d'eau dans le mur en paille est le plus grand.**



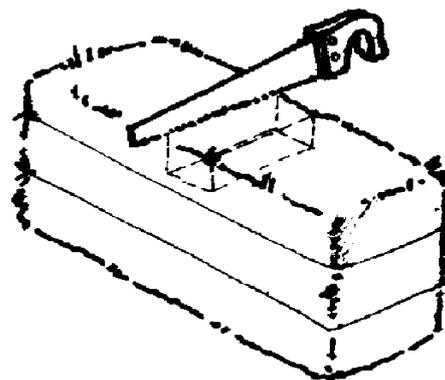
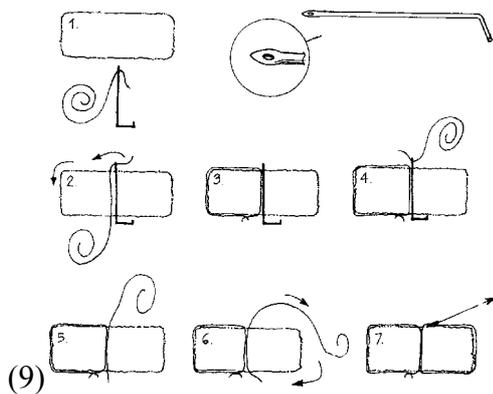
Il peut être utile (mais j'aurai tendance à penser le contraire) de planter dans chaque rang des broches en bois (deux pieux par botte de 0,5cm X 1m à partir du troisième rang: des bâtons aiguisés ou des bambous feront très bien l'affaire). Si votre toit gêne, ne vous tracassez pas, vous pouvez les supprimer, sur le dernier rang, voir même sur les 2 derniers rangs. Cette technique est de moins en moins utilisée, car, une fois la construction achevée, ces broches ne servent plus à grande chose. Un "brochage" extérieur, qui compresse le mur comme une corset, est parfois utilisé. Cette technique est laborieuse mais ajoute de la rigidité aux murs. Le mur en paille sans enduit peut sembler très mou: ne vous inquiétez pas, l'enduit stabilisera vos murs. Dans le cas d'une construction en ossature bois, il est conseillé de faire en sorte que le mur en bottes soit, de temps à autre, lié à, ou bloqué dans, l'ossature.

### **Fabriquer des Bottes de Taille Adaptées**

Vous avez dessiné votre bâtiment de façon à ce que ses dimensions soient des multiples de la longueur et de la hauteur moyenne de vos bottes, afin d'en avoir qu'un minimum à retoucher. Cependant, quelques bottes devront être redimensionnés malgré tout. Pour cela :

- Fabriquez plusieurs "aiguilles" (2) d'un diamètre de 5 mm et de 1 mètre de long, en frappant pour aplatir le bout d'une tige de métal que vous affûterez ensuite à l'autre bout; puis, vous percerez un trou de 5 mm environ sur l'extrémité aplatie, pour que la ficelle à bottes s'y enfile.
- Procédez comme sur l'illustration (9)

Des bottes mal compressés peuvent être compactés dans une botteleuse manuelle que vous pouvez vous fabriquer. (voir page 14). Pour ajuster les poteaux encastrables, la botte peut être facilement sciée à la main en faisant toutefois attention à ne pas couper la ficelle. (10)

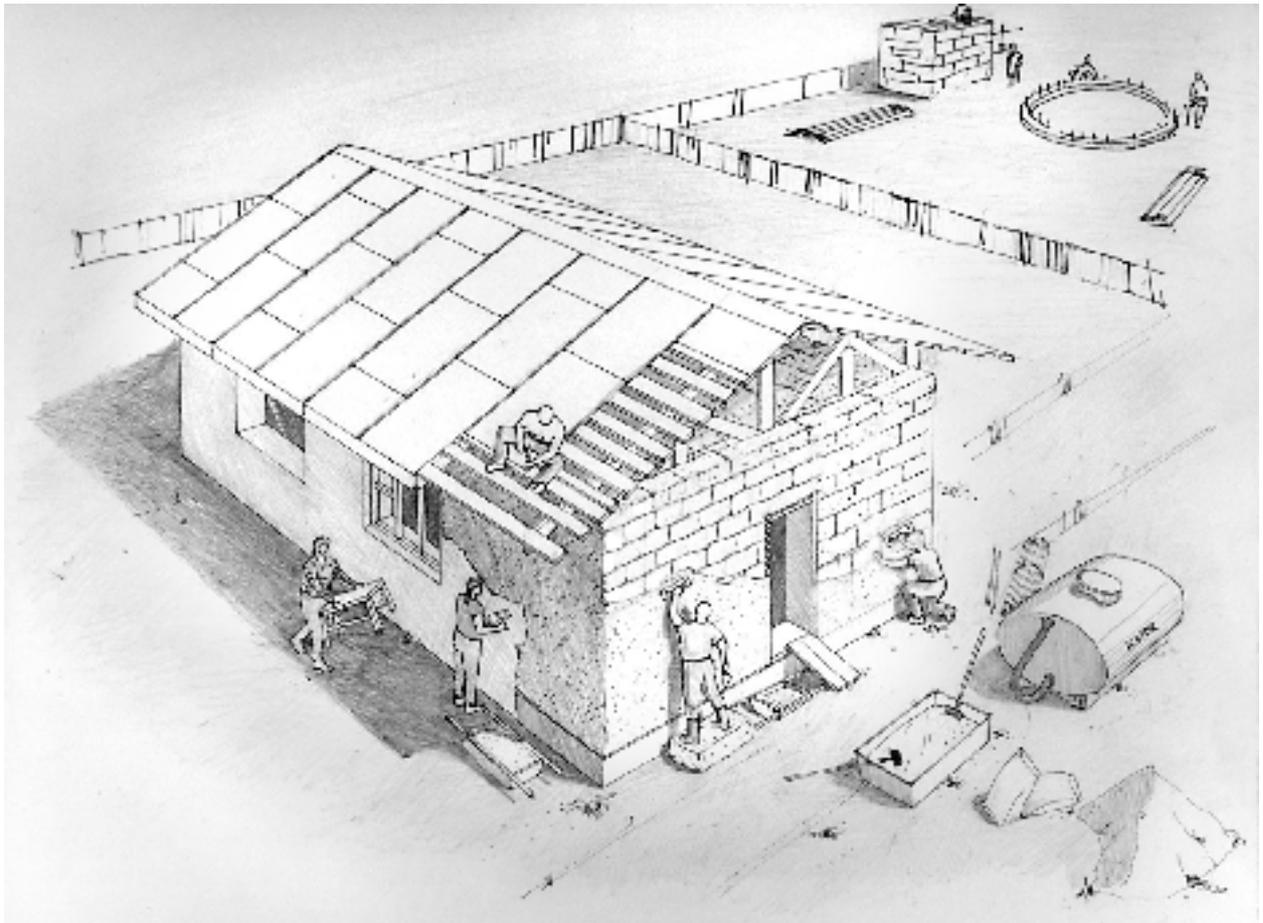


### Isoler le Plafond

Les bottes ont été utilisées comme isolant pour le grenier ou le toit. Evidemment, la paille compressée est plus résistante à l'épreuve du feu que de la paille en vrac. (Utilisez donc la paille en vrac, seulement pour boucher les trous entre les bottes)

Si vous utilisez des bottes;

- Isolez, autour des conduits de cheminées, avec autre chose que de la paille : des isolants minéraux, donc ininflammables, comme la laine de verre ou de roches, fonctionnent très bien pour cela et sont obligatoires en France.
- Enduisez le dessus et le dessous des bottes du plafond avec quelque chose de résistant au feu comme un enduit terre ou chaux (cela coupe aussi l'accès aux rongeurs).
- Si vous habitez sous un climat avec des froids extrêmes, installez une barrière pare vapeur continue entre les bottes et la zone habitable.
- Ventilez bien le grenier pour une bonne circulation de l'air et fermez toutes les ouvertures avec du grillage pour que les rongeurs n'aient pas d'accès.
- Tenez compte du poids considérable des bottes de paille enduits et calculez votre charpente en conséquence.



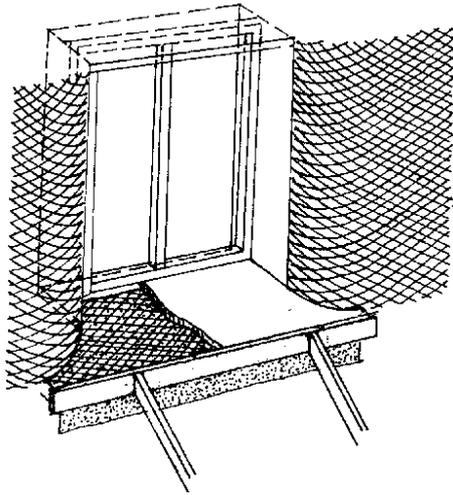
## Enduire Les Bottes de Paille

### Avant d'enduire

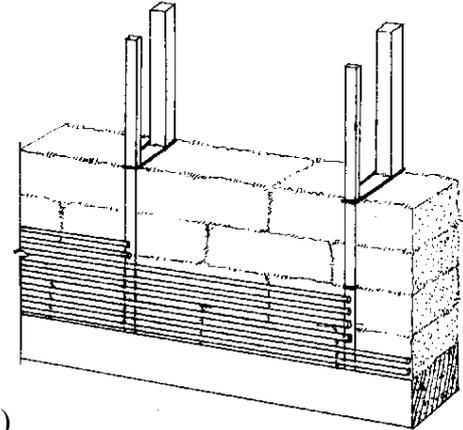
Certains bâtisseurs recouvrent leurs murs de paille avec un enduit, sans aucun renforcement/grillage. Pour un enduit collant, à base d'argile ou de chaux, cela fonctionne très bien. Alors qu'avec un enduit à base de ciment, il est recommandé de renforcer, le plus souvent, à l'aide d'un grillage métallique. *André de Bouter* : « *Quand la construction en paille y fut réglementée aux Etats-Unis, elle était accordée avec l'utilisation du ciment. Les enduits à la chaux étaient très peu connus à l'époque, et les enduits terre encore moins. L'enduit ciment, le plus consommateur en énergie grise, est le plus rigide (il craque ainsi le plus vite) et respire le moins, donc il entraîne le plus de risques de dégâts liés à l'humidité qui rentre et qui n'arrive pas à sortir. L'enduit ciment est déconseillé.* »

Pour des constructions avec une très haute résistance sismique, le grillage doit être très bien fixé aux fondations et sablières et se trouver, de préférence, dans l'enduit. Avec son "cœur mou" et sa "peau rigide", la construction en paille offre, effectivement, une solution très intéressante pour des zones à risques sismiques. (voir " Buildings of Earth and Straw ", par ingénieur Bruce King).

Pour toutes sortes d'enduits il est conseillé de renforcer (avec un grillage plastique ou matras en roseaux par exemple) les endroits à risque de fissures, tels que les endroits où l'enduit passe sur des matériaux différents ainsi qu'autour des ouvertures de portes et fenêtres (11) (observer aussi les rebords de fenêtre en ciment coulé).



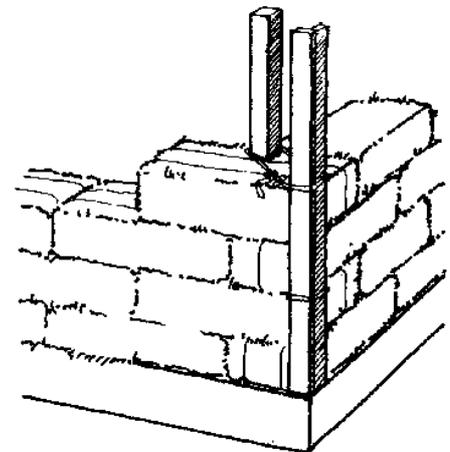
(11)



(12)

Un système de renforcement d'enduit (12), développé en Mongolie (où l'on ne trouve pas de grillage), utilise de fines lattes de bois (1 cm x 3 cm x 2 mètres de long), clouées horizontalement ou en croix (tous les 3-4 cm environ) sur des poteaux (5 cm x 5 cm x 2 mètres), posés à la verticale et espacés de façon régulière. Ces poteaux droits sont encastrés à l'intérieur des bottes (vous pouvez creuser les bottes avec le côté pointu d'un marteau, cela marche très bien), et fermement ficelé tous les deux rangs de bottes aux poteaux intérieurs.

Les guides (13) de coins sont sécurisés de la même manière. En Europe les enduits en ciment et les grillages sont quasi non-existants et aux Etats-Unis les enduits en terre deviennent de plus en plus acceptés et utilisés.



(13)

### Enduire

L'enduit est appliqué à la main, à l'aide d'une taloche (ou Tyrolienne), ou projeté. Pour obtenir un bon résultat, il faut un peu d'entraînement. Il existe autant de recettes pour les bons enduits qu'il y a de personnes qui les appliquent. La plupart sont efficaces avec les bottes de paille.

Les enduits à base de ciment sont plus solides, mais ils ne respirent pas assez et sont moins facile à appliquer que la chaux, le plâtre ou les enduits terre; dans beaucoup d'endroits, le ciment n'est pas forcément à la portée de tous et de toutes les bourses.

### Laissez les Murs Transpirer

Ne scellez pas entièrement vos murs enduits à l'extérieur pour qu'ils puissent "transpirer" vers l'extérieur la vapeur d'eau, qui (inévitablement), revient dans vos murs, et plus particulièrement sous les climats de froid extrême, où un bon pare vapeur doit-être ajouté à l'intérieur aux murs et aux plafonds.

### Enduit Chaux

En France, la plupart des enduits des maisons en paille sont réalisés avec chaux et sable, projetés par tyrolienne ou compresseur et/ou appliqués à la taloche (directement sur la paille, sans grillage).

#### 1<sup>ère</sup> couche (très liquide et projeté)

½ volume de chaux aérienne

½ volume de chaux hydraulique 3 volumes de sable (0-2mm)

## 2ème et 3ème couche

1 volume de chaux aérienne  
3 volumes de sable (0-2mm)

Eviter d'enduire en pleine chaleur (afin que l'enduit ne sèche pas trop vite) et durant les périodes de gel.

## Enduits Terre

Des enduits terre prêts à l'emploi sont disponibles sur le marché Français et vous pouvez également travailler avec des terres locales. Les enduits terre, à l'extérieur, sont protégés par l'orientation du mur, une véranda, un débord de toit, un hydrofuge, un lait/badigeon/enduit de chaux.

**Attention:** Evitez d'enduire en automne ou hiver car le temps de séchage peut être trop long et provoquer de la moisissure.

Dans les enduits terre, le liant c'est l'argile. Des tests sont nécessaires pour déterminer le ratio argile-sable (souvent 1 volume d'argile pour 3-5 volumes de sable). Parfois, de la paille broyée est ajoutée au couche de corps, cela sert à prévenir les craquelures.

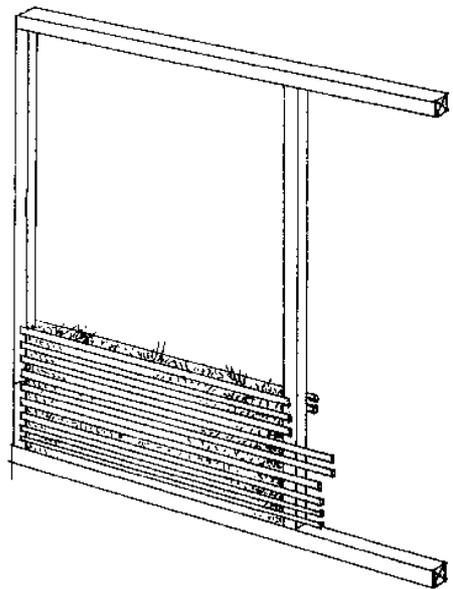
## Enduit Ciment (André de Bouter: **Déconseillé!**)

1 volume de ciment portland  
1 volume de chaux  
8 volumes de sable propre finement tamisé

Mélangez 80% du volume total de l'eau, la totalité du sable et toute la chaux et mixez pendant une minute. Puis ajoutez tout le ciment et de l'eau si besoin. Mélangez à nouveau pendant au moins dix minutes pour obtenir une consistance homogène et collante. D'habitude, on applique 2 ou 3 couches (en réduisant le nombre de volumes de sable à 6 pour la dernière couche). Conservez l'enduit ciment humide pendant plusieurs jours, le temps qu'il durcisse proprement.

## Les Cloisons et Plafonds

Une technique de cloisonnage, également développée en Mongolie, utilise le même système de lattes en bois ou grillage (expliqué ci-dessus) cloués sur les deux côtés des poutres 5x5 cm. On bourre doucement l'espace vide avec de la paille en vrac ou un mélange de terre-paille (plus d'inertie et moins de risque de rongeurs) et l'on enduit. Un mur en palettes rempli de terre et paille est également possible. Des plafonds enduits fournissent, aux greniers isolés avec des bottes de paille, une bonne protection contre le feu. Un grillage, plutôt que des lattes en bois, est mieux adapté, dans ce cas. Une couche, de verni imperméable, ou de peinture latex, étanche à l'eau, sur l'enduit, devrait suffire comme pare vapeur (étanche à l'eau mais pas à l'air).



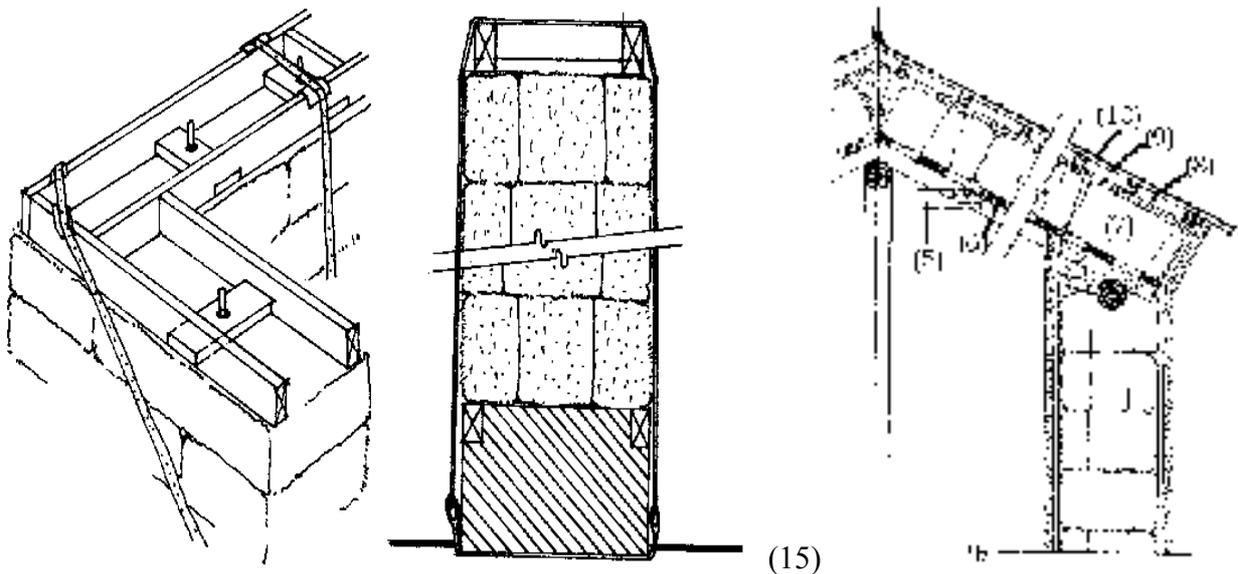
## Mur Porteur

Il est possible de construire, avec des bottes de paille, sans utiliser d'ossature (poutres et poteaux) supportant toutes les charges (toiture, neige, intempéries, etc.) de la structure. A la place de l'ossature, ce sont les murs, en bottes de paille, eux-mêmes, qui supportent toutes les charges: les murs sont porteurs. Ce style de construction est parfois appelé "style Nebraska " car le développement de cette technique a fait ses preuves, depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, dans les grandes zones de pâturage de l'Amérique du Nord, particulièrement dans la zone de Sand Hills, au Nebraska. La toiture, relativement légère, mais de haute qualité, a une forme qui distribue les charges équitablement (une forme pyramidale est idéale).

En suivant cette approche du mur porteur, il faut considérer les points suivants :

- Taille modeste de la structure (environ 140m<sup>2</sup> ou moins), pas d'étage.
- Qualité des bottes: secs, bien compressés, uniformes.
- Les murs : 8 rangs de bottes ou moins (si ce sont des bottes à 2 ficelles), bien plantés en quinconce, bien de niveau et d'aplomb.
- Les cadres de portes et fenêtres doivent être suffisamment solides pour supporter les charges.
- Une sablière rigide, attachée aux fondations par du fil de fer, des câbles, des sangles ou du grillage afin d'éviter que le vent ne puisse soulever le toit

**Attention** : Dans le cas d'une construction porteuse, n'endiguez pas avant que le tassement soit terminé (grâce aux poids du toit et du mur lui-même), cela peut prendre de deux à six semaines et représenter un tassement entre zéro et vingt centimètres, voir plus, si les bottes sont trop peu denses. Prévoyez donc un vide au dessus des cadres des portes et fenêtres. Il existe aussi des moyens pour pré-compresser, partiellement, les murs, (par exemple avec une sangle à cliquet passé dans la fondation et autour de la sablière). Mesurez la hauteur d'origine et son tassement pour voir quand elle ne se tasse plus, afin de pouvoir commencer à enduire les murs.



## Approches Alternatives

### Rénover en formant une enveloppe de paille

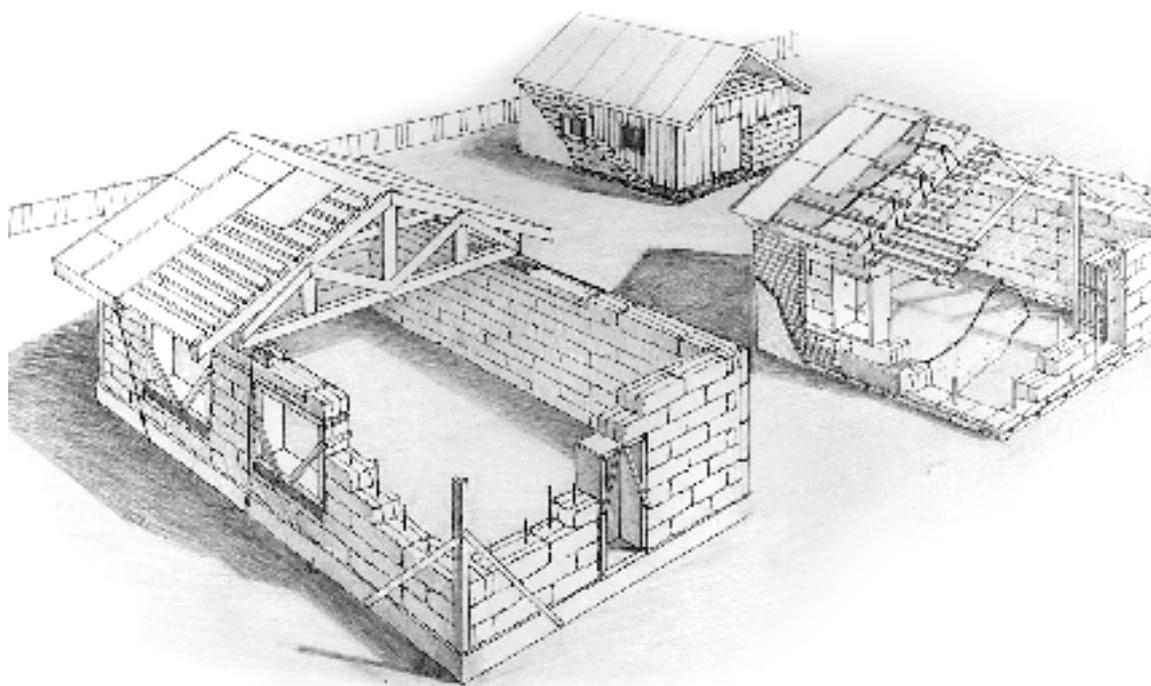
Vous n'avez pas beaucoup de temps, peu d'argent, vous ne pouvez pas vous permettre un autre projet de construction ou d'agrandissement ? Alors améliorez ce que vous avez déjà :

- En posant une couche de bottes enduits sur une nouvelle fondation autour de l'extérieur de votre maison.
- En posant un bon pare vapeur au-dessous du plafond, puis en ajoutant une couche de bottes dans votre grenier (bottes couverts, de haut en bas, avec un enduit, pour les protéger du feu et des rongeurs). Ventilez mais évitez l'entrée des souris. Vérifiez que votre plafond et votre charpente peuvent supporter le poids considérable des bottes enduit.
- En remplaçant vos vieilles menuiseries (cadres inclus) par des nouvelles, de meilleure qualité et qui économiseront l'énergie.
- En réfléchissant au fait de déplacer la majorité de vos ouvertures (fenêtres plein sud pour un gain d'énergie solaire). En ajoutant une véranda fermée, serre ou sas devant la porte d'entrée.

### Structures combinées

Un abri à base de bottes de paille peut inclure plusieurs techniques (ossature et murs porteurs). Une des combinaisons possibles (15) possède les paramètres suivants :

- Un poteau central. (ossature)
- Des murs de paille sans charpente (murs porteurs)
- Une simple fondation faite de sacs de gravier bien tassés et ancrés dans le sol aplani, en appliquant un mélange de terre-paille pour remplir les trous.
- Autres options : Contreventements (5), planches au plafond qui peuvent être enduites (6), pare vapeur, isolation du toit avec des bottes (7), dessus enduit (8), chevrons ficelés aux poutres à travers les bottes (9), tôles(10) fixées sur les chevrons.



## Finitions

### Touches finales

L'amusement que procure la réalisation de murs en paille est éphémère. Il vous reste encore beaucoup de tâches à accomplir, telles que l'installation du chauffage, de l'électricité, de la plomberie, le recouvrement des sols, l'agencement des cloisons intérieures, la mise en peinture.... La liste peut être longue!

Une attention particulière doit être portée aux :

- **Système électrique**

Avant et pendant l'installation, gardez toujours à l'esprit les normes de sécurité contre les risques d'incendies. Il vous faut suffisamment de circuits munis d'interrupteur; utilisez des conduits ou encastrez simplement les fils électriques (interdit en France !!) entre deux couches d'enduit. Envisagez l'installation d'un système photovoltaïque avec un réseau en basse voltage.

- **Chauffage**

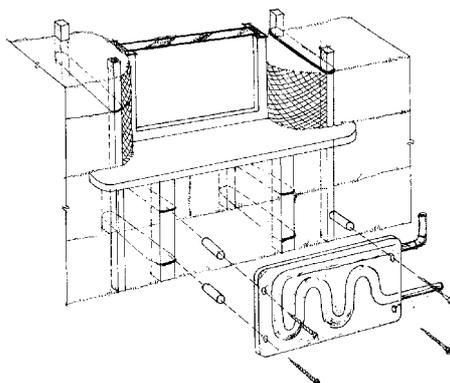
Installez un système de chauffage avec une performance appropriée à votre construction super-isolée et donc facile à chauffer. L'installation du chauffage demande aussi une grande précaution pour éviter, au maximum, les risques de dommage par le feu ou l'eau.

- **Objets suspendus**

Une fois l'enduit appliqué, des crochets ou des chevilles peuvent y être introduits, mais seulement pour des objets légers. Pensez à pré installer, à l'intérieur de vos murs, des bois (chevrons, poutres ou supports quelconques) pour éventuellement y fixer des objets lourds tels que les radiateurs, la tuyauterie, les placards de cuisine, les étagères,... etc.

### Infiltrations de d'eau et vapeur d'eau

Evitez les fuites d'air excessives en utilisant des fenêtres et des portes de bonne qualité et étanches. Des vérandas fermées ou des serres sont très utiles pour cela. Dans les climats de froid extrême, appliquez sur les murs intérieurs et les plafonds une bonne peinture (ou freine vapeur) qui coupe la vapeur d'eau pour garder au sec, les murs les plafonds en paille ainsi que les installations.



### **De la maison au foyer**

Un foyer n'est pas seulement une maison. Vous pouvez avoir d'autres projets, en dehors de la maison, faciles à faire avec la construction en paille, tels que :

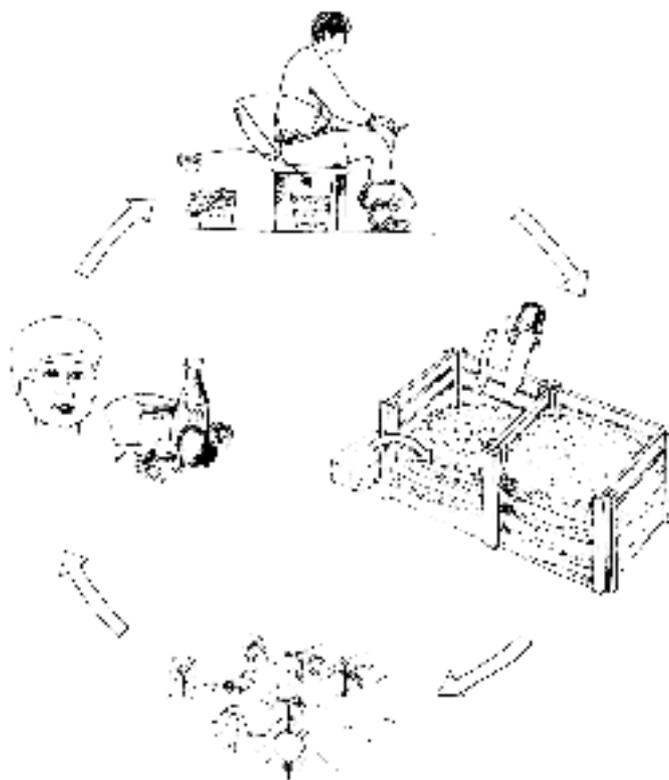
- Une serre à potager, un local à légumes.
- Une grange, garage.
- Un poulailler ou autre cage à animal.
- Une palissade.

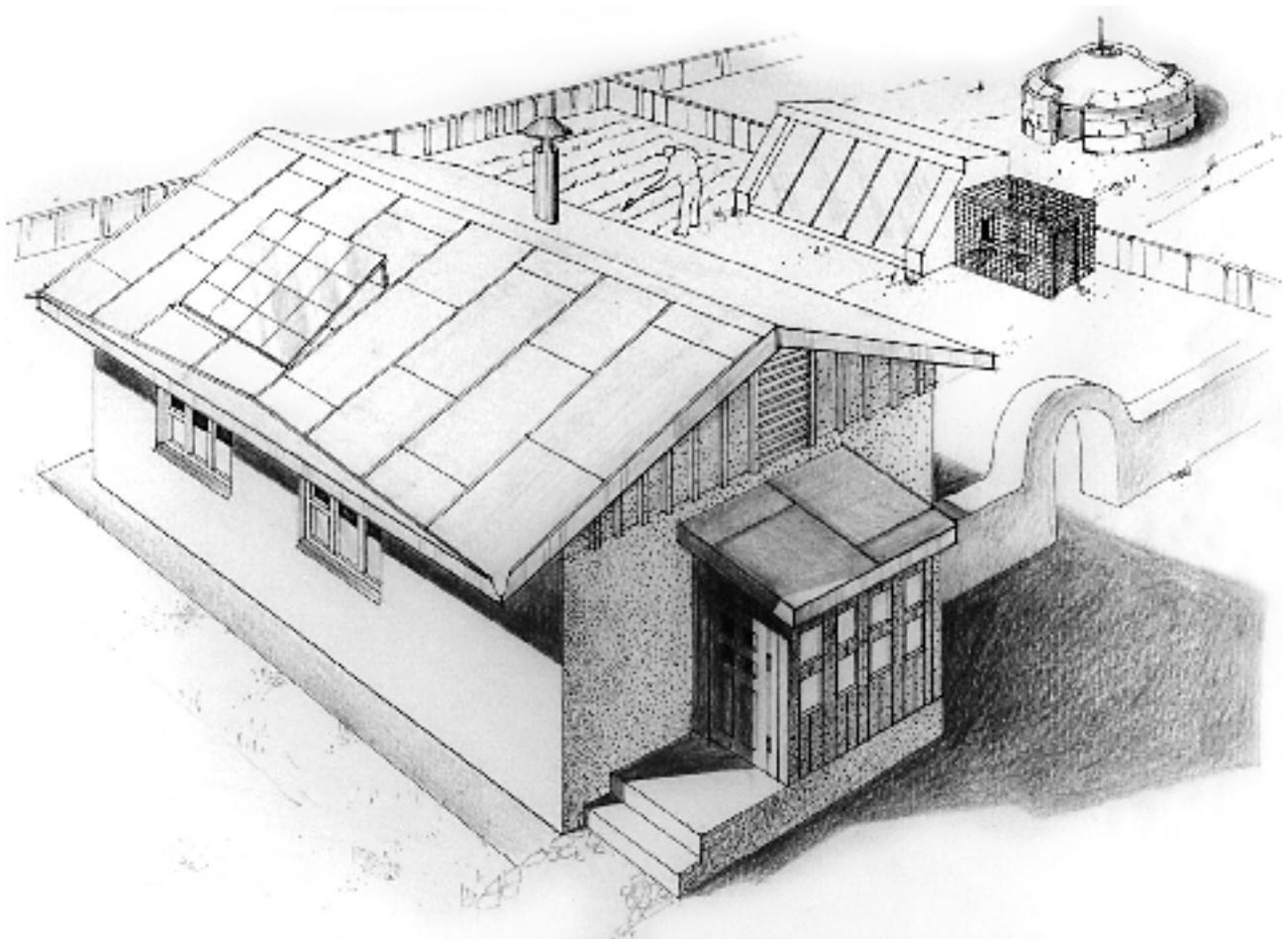
### **Pensez également à :**

- des plantations d'arbres fruitiers, des haies.
- la récupération des eaux de pluie.
- des terrasses et trottoirs en pourtour de maison pour contrôler et diriger l'écoulement de l'eau de pluie.

### **Toilettes à compost**

Vos déjections sont de l'engrais. Recyclez vos "engrais" et les déchets organiques à l'aide d'une toilette sèche et de sciure de bois mis en un tas de compost. C'est aussi très pratique sur le chantier quant l'assainissement n'est pas encore installé. Il suffit d'ajouter une petite dose de sciure, après chaque visite aux toilettes. Vous videz le seau sur le tas de compost. Un an plus tard vous avez du bon compost.





### **Maintenance et Réparation**

Une construction n'est jamais, à proprement parler, terminée. Cela continue avec sa maintenance et d'éventuelles réparations; voici une liste non exhaustive de points à vérifier :

- Fuites du toit, corrosion, peintures
- L'enduit se craquelle et se brise-t-il? faut-il enduire de nouveau ?
- La paille dans les murs et au grenier est-elle sèche ?
- Il a-t-il des animaux nuisibles?
- Les fenêtres et les portes sont-elles en bon état ? Doivent elles être repeintes ? Ont-elles des entrées d'air ? Sont-elles toujours en place? (aplomb, niveaux).
- La jonction, entre menuiserie et enduit, est-elle toujours étanche ?
- Au grenier, l'isolation est-elle complète ? il a-t-il un dégât des eaux ? La cheminée est elle étanche ? Y a-t-il suffisamment de ventilation ?
- Le système de chauffage et la plomberie sont-ils en bon état ? Sécurisés ?
- Le sol est-il en bon état ? Les sols en paille sont-ils en bon état ?
- Le système de drainage du périmètre est-il toujours opérationnel ?



**"A Visual Primer to Straw Bale construction"**  
par S. O. MacDonald

-  
Version anglaise, Décembre 1999

-  
Version française, Décembre 2003  
par La Maison en Paille  
[www.lamaisonenspaille.com](http://www.lamaisonenspaille.com)