

Né en 1970, j'ai vécu toute ma jeunesse à l'étranger, vécu deux ans en voilier et me suis beaucoup promené avant de me fixer en France.

Après avoir découvert la construction en botte de paille en 2004 en Australie, mon engouement pour la technique n'a fait que se renforcer.

Co-fondateur et habitant de l'éco-hameau de Verfeil (82 330), lotissement entièrement construit en botte de paille, artisan en éco-construction spécialisé en bâtiment bois/terre/paille depuis 2011, formateur pro-paille depuis 2013, j'ai accompagné dans ce cadre un grand nombre de professionnels et d'auto-constructeurs, et affiné la technique que je vous présente aujourd'hui.

L'aventure continue...

Stephan Gutierrez

Manuel de construction en bottes de paille

technique d'ossature double

introduction

chapitre 1

Pourquoi un manuel ?

Ces dernières années, le monde de la construction paille a connu de grands bouleversements.

L'édition en 2012 des règles professionnelles, la formation pro-paille à l'adresse des artisans, architectes et prescripteurs, le travail de mise en cohérence des techniques et de la formation au niveau européen, ont permis de faire passer le statut de la construction en botte de paille, du domaine de la confidentialité à celui de la reconnaissance, tant au niveau des institutions qu'à celui des acteurs de la construction, permettant notamment une assurabilité et une professionnalisation de la filière.

Répondant de façon remarquable aux enjeux d'écologie, de santé et de durabilité du bâti, permettant une excellente gestion thermique, hydrique et phonique. la construction paille s'impose aujourd'hui comme un incontournable de la construction écologique.

De nombreux ouvrages sur le sujet ont démontré la pertinence de ce matériau, il ne s'agit donc pas ici d'en faire la promotion.

De par ses caractéristiques, le matériau Botte de paille offre une grande variété de systèmes constructifs, allant du caisson bois fabriqué en atelier de façon industrielle jusqu'à la mise en œuvre de la botte de paille structurelle, sans ossature porteuse, en chantier participatif mené par des auto-constructeurs.

Les techniques de mise en œuvre sont multiples, variées, et souvent, le profane se perd devant la diversité des solutions existantes.

A ce jour, les manuels détaillant de façon précise les techniques de mise en œuvre des bottes de paille sont très peu nombreux et ne font qu'effleurer le champ des possibles.

Mon expérience professionnelle m'a amené à intervenir sur des bâtiments à la suite du passage d'autres ouvriers ou auto-constructeurs, et de constater des mises en œuvre, soit non conformes, soit malheureuses, dues à leur complexité impactant fortement sur les temps de travail et/ou sur la bonne isolation du bâtiment et souvent sans aucune anticipation des étapes à suivre. Il est parfois difficile de récupérer le tir et cela entraîne souvent des surcoûts non négligeables.

Le propos de cet ouvrage est donc de fournir au lecteur un manuel pratique de mise en œuvre détaillant étape par étape un procédé constructif pertinent et appropriable, fruit de plusieurs années de pratique et de recherche.

Comme toute technique, celle décrite ici ne prétend pas être meilleure que les autres, ni même plus aboutie, mais son but est de venir enrichir le propos et de partager un savoir faire qui, je l'espère saura répondre à vos désirs constructifs et vous inspirer.

Bonne lecture.

Manuel de construction en bottes de paille

technique d'ossature double

Généralités

chapitre 2

Les mises en œuvre décrites dans cet ouvrage s'inscrivent dans le contexte normatif actuel. En effet, ne pas prendre en compte ces contraintes (RT 2012 et règles professionnelles notamment) n'aurait pour résultat que la construction de bâtiments non conformes. Cet ouvrage prétend venir en complément des documents existants et non les remplacer.

Les règles professionnelles de la construction paille définissent les caractéristiques d'une botte de paille apte à la construction. Des abaques, présents au sein de ces règles, ou sur le site du RFCP (réseau français de la construction paille) permettent de qualifier les bottes en fonction de 3 critères:

La densité des bottes. Elle doit être comprise entre 80 et 120 kg/m³ sur base sèche.

Le taux d'humidité des bottes, qui dans tous les cas, doit être inférieur à 20% lors de la mise en œuvre.

Le respect du sens des fibres lors de la pose.

Au cas où un enduit est prévu sur le mur en paille, je recommande d'avoir des fibres longues (+ de 25 cm)

Le seul grand ennemi de la paille reste l'eau sous forme liquide. Une attention particulière devra être portée tant au niveau du stockage des bottes avant construction qu'au moment de la mise en œuvre sur chantier pour garantir à tous moments que la paille reste sèche.

Une botte de paille mouillée à cœur se met à composter.

La technique proposée ici présente comme avantage de pouvoir être adaptée à tout type de parement couramment utilisé dans la construction (ou presque).

En effet, la présence des ossatures au nu du mur permet la pose de tout type de panneau et /ou pare-pluie ainsi que la fixation des bardages sous lame d'air ventilée, et ce dans le respect du DTU ossature bois. De même, cette structure peut recevoir tout type d'enduit compatible avec les bottes de paille, par l'ajout de trame d'accroche par dessus les montants.

Ainsi, avec un seul type de structure, on peut varier le type de parement selon les choix architecturaux souhaités, tant au niveau des différentes façades qu'en leur sein.

La structure en double ossature, bien que demandant plus de travail à réaliser, présente plusieurs avantages:

- Tout d'abord, on a besoin de moins de bois, ce qui fait des échelles plus légères et maniables que des planches de 37 cm de large.
- Le rajout d'isolant complémentaire aux bottes de paille dans les vides du double montant permet de casser les ponts thermiques (relatifs, mais néanmoins existants) du bois.

- Surtout, la mise en place des bottes debout, dans le sens de la compression naturelle, permet une compression des bottes entre elles conforme aux règles professionnelles, en les sur-comprimant avec des sangles, rendant notamment la pose des bottes en haut de mur, simple et rapide.
- Les ossatures servent de guide de pose aux bottes de paille, ce qui permet un dressage des murs également simple et rapide. Par l'ajout de liteaux, elles servent également de guide à l'épaisseur et au dressage des enduits.
- Il n'y a presque plus de rebouchage à faire entre les bottes avant enduit, ce qui est un gain de temps appréciable.
- Les ossatures présentes juste sous l'enduit permettent la fixation de tous les éléments techniques: boîtier électrique, plinthe, meubles, etc...

Nous aborderons les contraintes s'exerçant sur les ossatures (charge, déformation, etc...) en distinguant les ossatures non porteuses (ou ossatures secondaires) n'ayant pas pour objet de structurer le bâtiment, des ossatures porteuses (ou primaires) ayant pour but d'assurer la bonne tenue du bâti par la prise en compte des descentes de charges et des phénomènes de contreventement, entre autres.

Les ossatures primaires nécessitent toujours des calculs spécifiques en fonction des caractéristiques du bâtiment concerné. Les informations techniques données dans cet ouvrage le sont à titre d'exemple et ne prétendent pas être adaptées à tous types de bâtiments. Dans tous les cas, l'expertise d'un professionnel (charpentier ou bureau d'étude compétent) est indispensable pour valider les choix structurels liés aux ossatures porteuses.

Les problématiques liées aux points techniques et points particuliers (tels que la mise en place des ouvrants par exemple) ne sauraient être exhaustives, tant le champ des possibles est vaste. Nous verrons quelques façons de les traiter simplement, le but étant ici de parler de techniques assimilables. Néanmoins, beaucoup d'autres solutions restent possibles, et je vous invite à les explorer en gardant à l'esprit de toujours bien prendre en compte les contraintes identifiées (tenue structurelle de l'ouvrage, étanchéité à l'eau, à l'air, garde au feu, etc...).

Construire un bâtiment est devenu de plus en plus complexe au fil du temps. La transformation radicale de nos modes de vie et de nos techniques constructives depuis un siècle a amené, par retour d'expérience, les constructeurs à prendre en compte de plus en plus de notions pour mieux répondre aux enjeux de l'habitat. On considère aujourd'hui les parois d'un bâtiment comme une troisième peau (la seconde étant nos vêtements et la première notre épiderme, bien sûr), devant réagir et fonctionner comme une membrane à la fois protectrice et poreuse.

Les enjeux de qualité de l'air, de santé, de gestion de la vapeur d'eau, de protection au feu et aux gaz, etc...sont tous devenus des enjeux majeurs de la construction. Voici quelques unes de ces notions mises en rapport avec les données techniques sur les bottes de paille.

Dimensions les plus courantes d'une botte de paille: 37 cm x 47 cm x une longueur variable...

résistance thermique: $R = 7\text{m}^2.\text{k/w}$

La résistance thermique d'un matériau traduit sa capacité à résister à la transmission de chaleur. Elle dépend de l'épaisseur du matériau (e, en mètre) et de sa conductivité thermique (λ) : $R=e/\lambda$

conductivité thermique: Lambda: 0,052 W/m.K

La conductivité thermique traduit la propriété qu'ont les corps à transmettre la chaleur par conduction (contact). Elle correspond au flux de chaleur qui traverse en 1 seconde un matériau d'une surface de 1m² et de 1m d'épaisseur pour un écart de température de 1°C entre les 2 faces.

capacité thermique massique: Cp : 1558 j/kg/K :

La capacité thermique massique (ou chaleur spécifique) est la capacité du matériau à emmagasiner la chaleur par rapport à son poids. Elle caractérise la quantité de chaleur à apporter à 1 kg de matériau pour éléver sa température de 1°C.

déphasage : entre 12 et 16 heures

Le déphasage thermique définit le temps que met un front de chaleur pour traverser une épaisseur donnée de matériau. Notion très importante dans la régulation des surchauffes estivales.

Comportement au feu : classe M1 (B- S1 -do): très difficilement inflammable (eh oui!)

Inertie thermique

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker de l'énergie thermique. Elle dépend principalement de la masse volumique et de la capacité thermique massique du matériau. (En gros, plus le matériau est lourd plus son inertie est importante). L'inertie est le principal facteur permettant de régler le volant thermique, c'est à dire la vitesse à laquelle le bâtiment va descendre (ou monter) en température.

Capacité hygrothermique

En complément de l'inertie thermique, certains matériaux peuvent favoriser la régulation de la température et de l'humidité des locaux, grâce à leur capacité hygrothermique. La terre crue en est un des meilleurs exemples. Son usage dans la construction paille à travers des enduits ou des cloisons en torchis permet une régulation très efficace que je recommande vivement.

Le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau : $\mu = 1,15$:

Il caractérise la capacité du matériau à freiner son franchissement par la vapeur d'eau. Plus le μ est élevé, plus le matériau est fermé à la vapeur d'eau. (Par convention, on considère que l'air immobile a un $\mu = 1$). Plus un matériau est ouvert, plus il est « perspirant ». Le μ doit être fourni par le fabricant des matériaux, et apparaître sur sa fiche technique.

Travailler avec des matériaux qui favorisent ces échanges est toujours pertinent. (Personnellement, je ne fais pas mon jogging en Kway...d'où la 3^o peau)

Dès lors la gestion de ce flux de l'intérieur vers l'extérieur à travers la paroi doit se faire sans blocage, c'est à dire du matériau le moins perspirant à l'intérieur, vers le plus perspirant à l'extérieur.

Résistance d'un enduit terre sur BDP : 1 tonne par m² à l'arrachement.

La paille résiste très bien aux rongeurs, elle n'est pas attaquée par les insectes, y compris les termites. Attention néanmoins, ce n'est pas le cas du bois d'ossature.

La prise en compte de ces notions permet de qualifier les matériaux utilisés dans notre habitat, et de les choisir en connaissance de cause. Le choix des matériaux utilisés n'est jamais anodin, les enjeux de santé, de confort, de sécurité et de maîtrise du budget mettent les matériaux « au pied du mur ». Il est indispensable de savoir dans quel contexte de mise en œuvre il sera possible d'optimiser ses effets bénéfiques et de minimiser ses effets négatifs. Ou pour le dire autrement : quel est le bon matériau à poser à quel endroit ?

Dans ce contexte, la paille, surtout associée aux enduits terre, reste très en haut du panier.

Les fondations et les dalles

Les bâtiments en bottes de paille restent, en comparaison avec les bâtiments conventionnels, des structures légères, n'apportant pas de contraintes particulières au niveau des fondations ou des dalles. Ils s'adaptent à tous types de fondations construites dans le respect des DTU. Néanmoins quelques règles spécifiques sont à retenir.

Les bottes de pailles ne doivent jamais être à moins de 20 cm du sol extérieur fini ou d'un possible rejaillissement d'eau. Le simple rebond des gouttes de pluie sur le sol peut être suffisant pour créer, au bout d'un certain temps, un risque de dégradation de la paille et du parement (enduit ou bardage).

Toute possibilité de remontée d'humidité par capillarité (du sol vers les murs) au sein des bottes et des ossatures doit être éliminée.

Les bottes ne doivent jamais être à moins de 4 cm du sol intérieur fini. En cas de fuite d'eau dans la maison, la paille ne risque pas ainsi d'être mouillée.

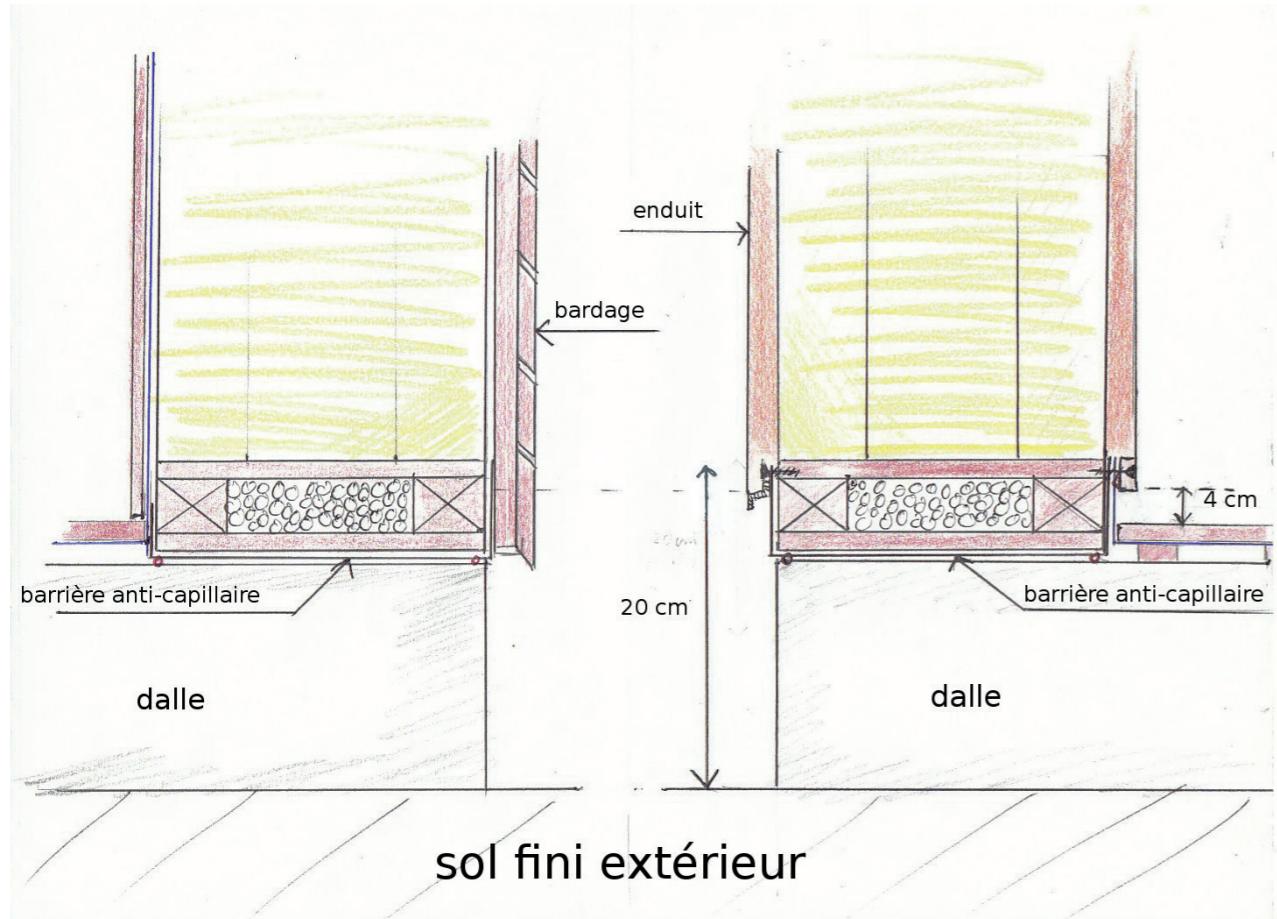
Les bottes doivent être protégées de l'humidité et notamment de la pluie et du ruissellement durant toute la phase chantier.

Fabrication des murs

chapitre 3

Il n'est pas préconisé d'isoler les dalles bois en bottes de paille. De nombreux retours d'expériences ont montré que le moindre passage d'eau au sein de la dalle pouvait avoir des conséquences très graves sur l'isolant. De plus, la difficulté d'assurer la protection à l'eau en phase chantier, ainsi que l'épaisseur nécessaire de la dalle rendent plus cohérent l'usage d'isolant en vrac, insufflé mécaniquement une fois le bâtiment clos, directement au sein de la dalle, entre les caissons de sol.

L'usage d'isolant imputrescible (liège ou perlite par exemple) peut aussi être envisagé.

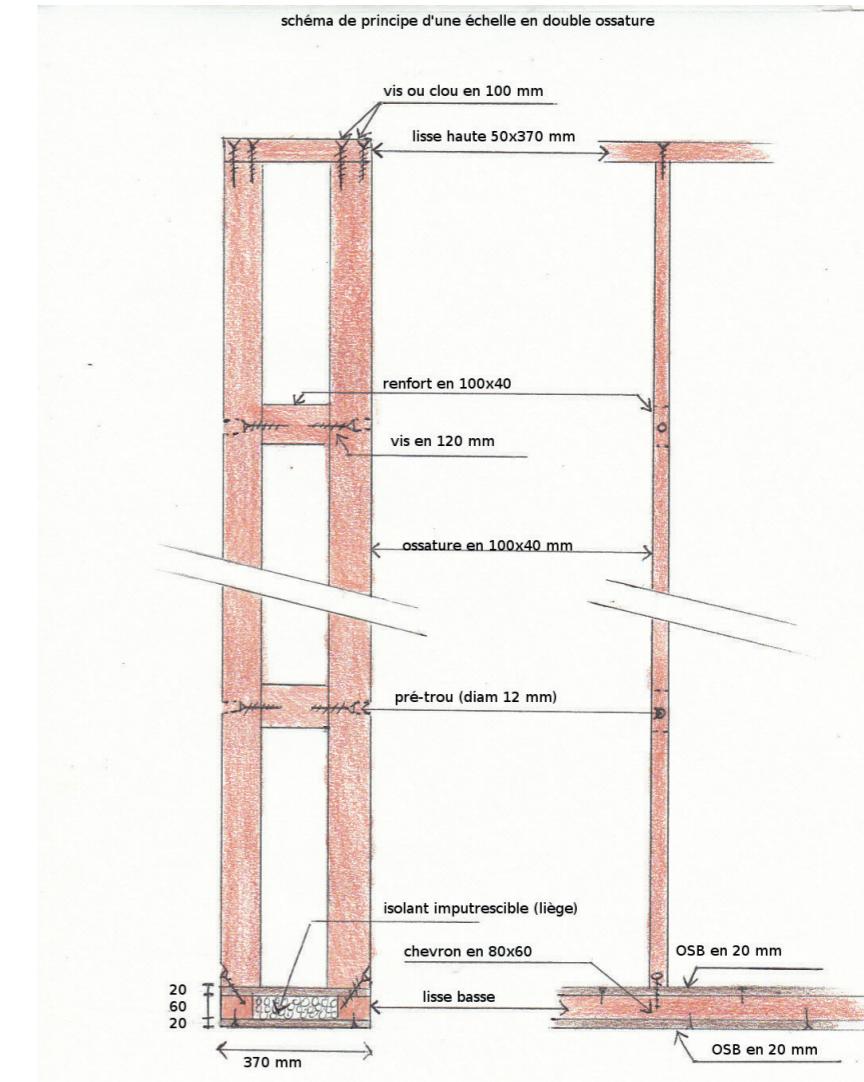


NB : Tous les schémas présents dans cet ouvrage présentent des dimensions données à titre indicatif. Les ossatures bois ont vocation à être porteuses de charge et structurelles. Dans tous les cas, le passage par un professionnel est indispensable pour dimensionner les ossatures en fonction des contraintes techniques propres à chaque projet constructif.

• les échelles

Les échelles sont les éléments de base de la structure venant accueillir la paille. Leur rôle est d'assurer la rigidité de l'ensemble du mur, elles permettent la fixation des éléments techniques et aident grandement à la mise en forme du mur en paille.

Leur largeur correspond à celle d'une botte de paille, cette dimension pouvant être variable selon les botteleuses utilisées dans le champ. L'écartement retenu dans cet ouvrage correspond à la dimension la plus courante, soit 37 cm.



- Les échelles sont implantées sur la lisse basse en respectant une distance de bord à bord, égale à la longueur de la botte de paille utilisé. L'écartement retenu dans cet ouvrage correspond à la dimension la plus courante, soit 47 cm.
- Des renforts structurels, posés tous les 80 cm environ rendent solidaires les deux montants de la double ossature.
- La lisse basse, creuse, remplie d'isolant imputrescible (liège ou perlite par exemple), permet d'assurer la garde au sol intérieur, tout en évitant les ponts thermiques.
- La lisse haute, continue sur tout le pourtour du bâtiment, assure la liaison entre les montants, d'une part, et entre les échelles d'autre part. Elle doit être dimensionnée pour accueillir les éléments de toiture, si cela s'avère nécessaire. Encore une fois, l'avis d'un professionnel compétent reste indispensable.
- Les échelles peuvent être continues sur plusieurs niveaux si nécessaire.
- Encore une fois, l'avis d'un professionnel compétent reste indispensable pour le dimensionnement des pièces et la bonne prise en compte des charges structurelles.
- Dans le cas d'une ossature secondaire (structure non porteuse), il est possible de doubler cette distance et de poser deux bottes côté à côté entre deux montants, avec un entr' axe de 98 cm (2x47cm pour les deux bottes de paille + 4 cm d'ossature).
- Les vides au sein de l'échelle seront comblés pendant la pose des bottes avec des isolants complémentaires : soit de la paille en vrac, soit de la laine de bois souple en 4 cm d'épaisseur, ceci afin de casser les ponts thermiques et de bien boucher tous les passages d'air, dans un souci d'isolation, mais aussi de garde au feu.

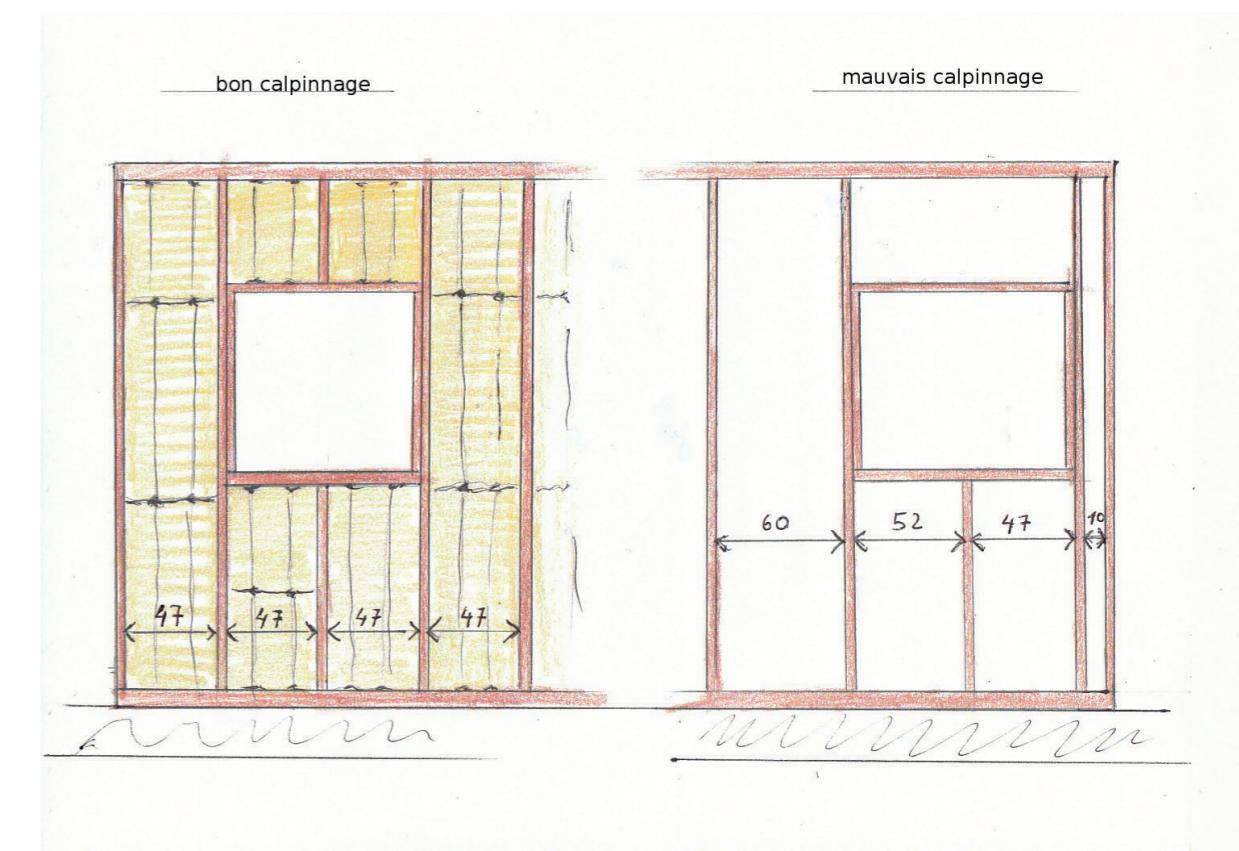
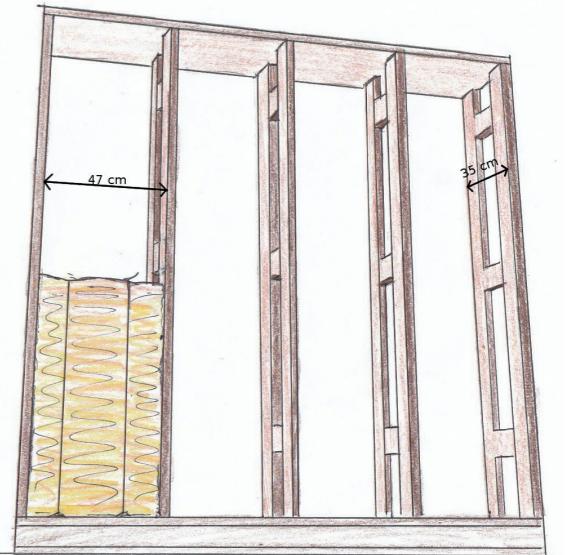
Les murs

Les montants d'ossature étant dimensionnés pour correspondre à la taille de la botte de paille, ils servent de guide de pose. Il suffit de bien aligner les bottes le long des montants pour avoir un mur parfaitement d'aplomb.

La séquence d'ossature tous les 47 cm entre les échelles, soit 51 cm entr' axe (47 cm + 4 cm d'épaisseur de montant = 51 cm) est notre côte de base. Elle nous sert à établir le calepinage, c'est à dire à être dans le respect de cette distance pendant le dessin des plans.

En effet, chaque fois que l'on déroge à cette distance, cela implique une intervention sur la botte de paille qui devient soit trop petite, soit trop grande.

Un travail supplémentaire est alors nécessaire pour redimensionner notre isolant. Cela peut avoir un impact très grand sur le chantier en terme de temps lors de la mise en œuvre.



Pose des bottes

chapitre 4

Un point sur l'outillage et les astuces

La mise en paille au sein de l'ossature demande quelques outils spécifiques pour faciliter et simplifier la pose, en voici les principaux ainsi qu'un court descriptif de leur utilisation.



Les sangles de type « bagagiste », pour sur-comprimer les bottes de paille. Très utiles pour finir de remplir un mur entre l'avant-dernière botte et la lisse haute. Elles permettent de réduire la longueur de la botte le temps de la pose, puis de lui rendre sa forme initiale de façon à avoir un contact parfait entre l'isolant et la structure et ce, rapidement et sans forcer.

Les sangles de type cliquet

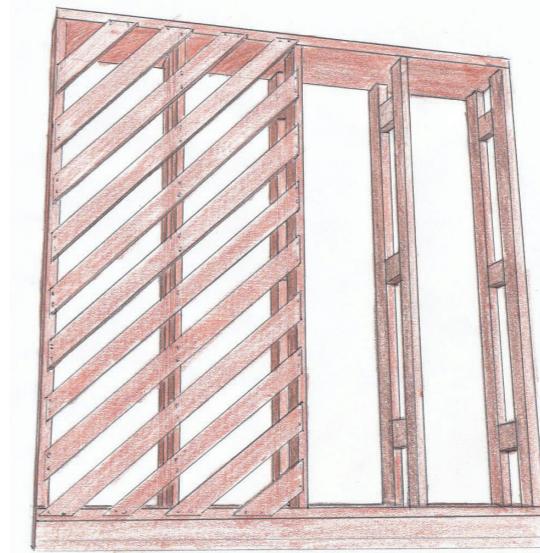
A prendre très solides et assez longues (sangle de camionneur par exemple). Elles permettent de récupérer d'éventuelles déformations latérales de l'ossature dues à la pression cumulée des bottes au sein du mur (effet dit : de flambement). C'est d'autant plus important pour assurer la bonne descente des charges de la toiture vers les fondations à travers les montants d'ossature. Si ceux-ci sont déformés exagérément, la descente de charge peut se faire « dans le vide », et mettre en péril la tenue structurelle du bâtiment. Par ailleurs, cette pression s'exerce aussi vers tous les vides laissés dans l'ossature, et notamment les cadres de fenêtres et de portes. Si ces cadres sont déformés, il peut devenir impossible de poser les ouvrants prévus.

Une fois l'ossature remise d'aplomb par l'action des sangles à cliquet, un jeu de planches ou de liteaux posés en oblique sur l'ossature suffit généralement pour maintenir l'ossature en place. Dans l'idéal, la pose de ces planches est anticipée avant la pose des bottes, c'est le planchéage oblique.



Le planchéage oblique

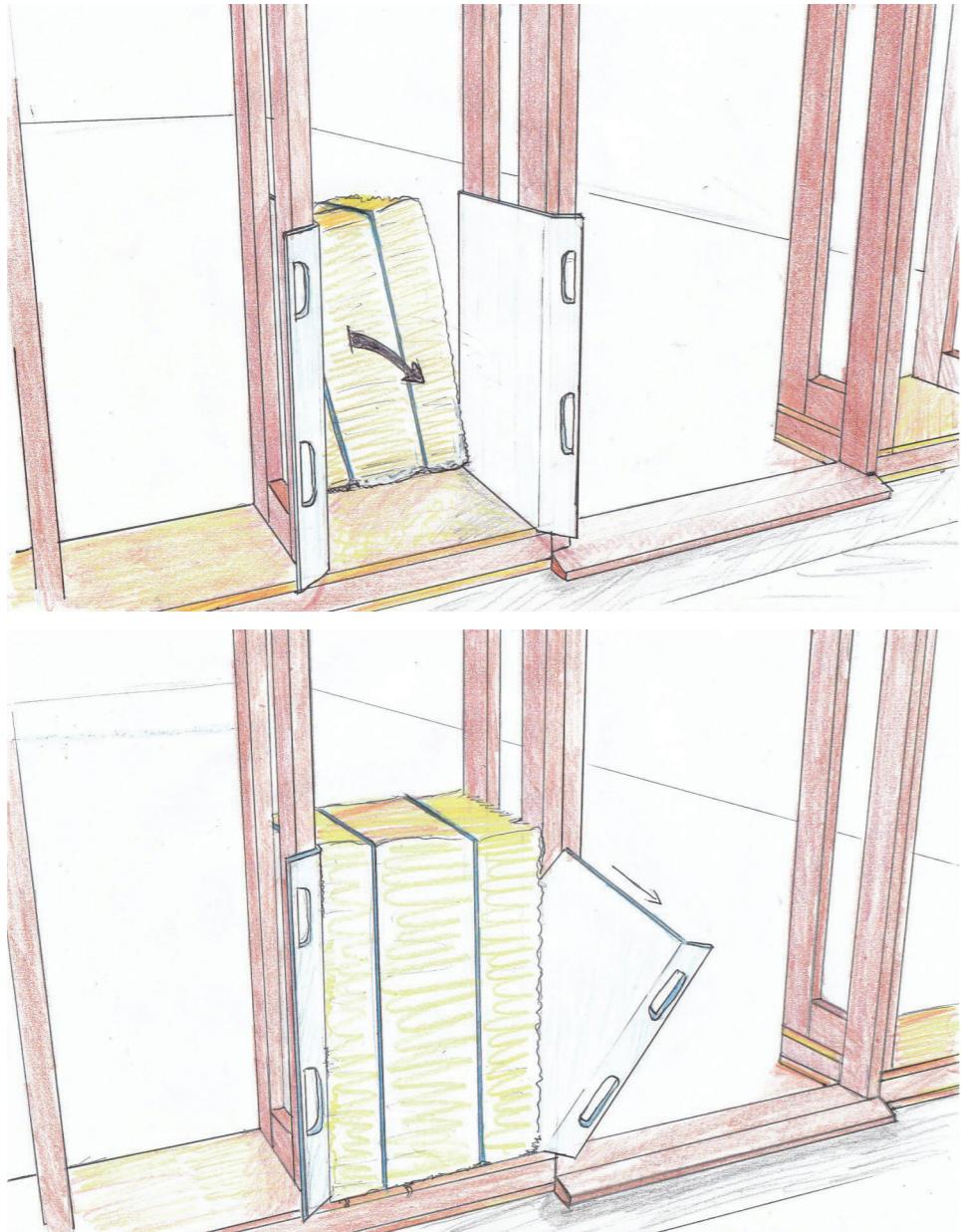
Outre sa capacité à maintenir en place les ossatures, comme nous venons de le voir, il permet aussi de contreventer provisoirement les ossatures en attente de parement, sans impacter sur la pose de l'isolant. En effet les bottes de pailles restent au sein de l'ossature, alors que le planchéage oblique est posé en extérieur de celle-ci. De plus, il peut servir à caler les bottes lors de la pose.





Les chausse-bottes

Sorte de planches fines à poignée (en métal, contreplaqué, plastique, etc...) qui servent à faire glisser la botte, par nature très accrochante, le long de la structure. C'est une aide non négligeable à la pose, et une garantie de non déformation des bottes, ce qui est appréciable pour une bonne mise en œuvre. Il est conseillé d'en fabriquer de différentes tailles selon les endroits nécessaires.



La scie crocodile ou scie alligator

Conçue à l'origine pour le béton cellulaire, puis pour le bois en changeant de lame, elle est parfaitement adaptée à la coupe des bottes de paille. C'est un outil assez léger et relativement peu dangereux en comparaison avec un tronçonneuse ou une meuleuse.



Le persuadeur

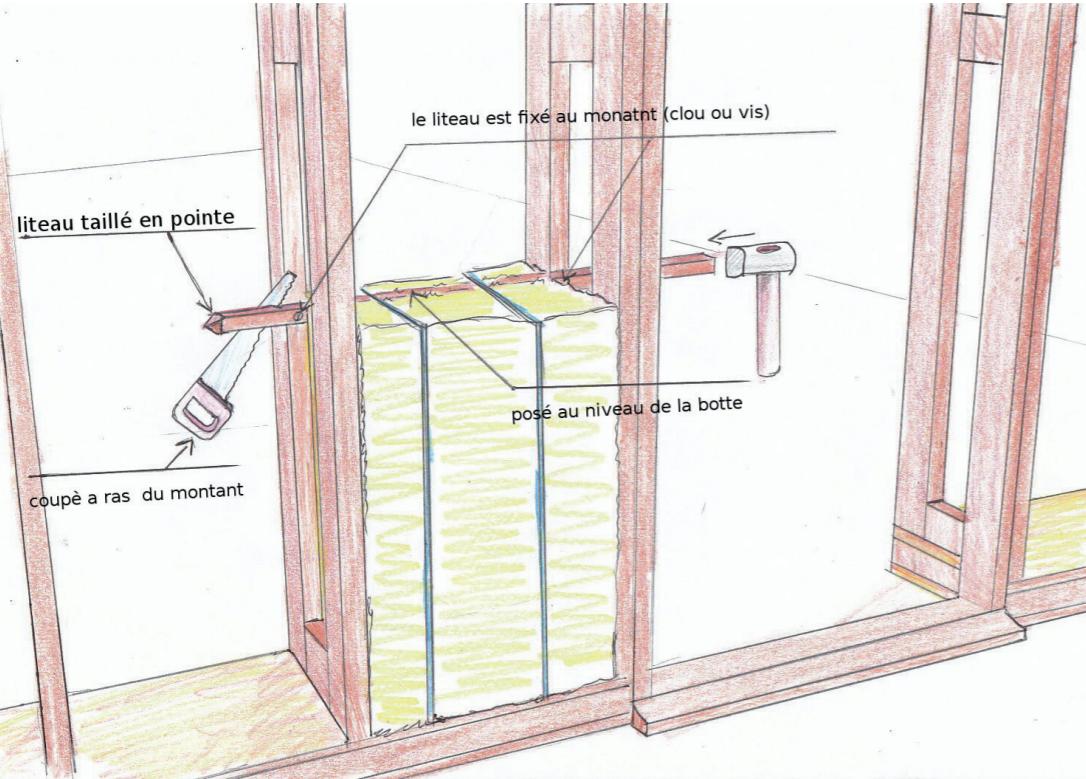
C'est un gros maillet en bois, son but est de pouvoir frapper sur la botte de paille sans la déformer. Il en existe de différentes tailles, généralement faits maison. Il permet de mettre les bottes de paille en place malgré les résistances dues aux frottements.

La mise en œuvre

Les bottes se glissent entre les chausse bottes. Elles sont posées « debout », dans le sens de la hauteur, et doivent parfaitement combler tous les vides entre les deux échelles. Elles sont correctement tassées du haut vers le bas grâce au persuadeur, de façon à assurer une bonne mise en contact de la première botte avec la lisse basse, et des bottes suivantes entre elles. En passant la main sur les côtés de la botte de paille, on remarque qu'elle est plus accrochante dans un sens que dans l'autre, comme la fourrure d'un animal. On posera les botte pour avoir la « fourrure vers le bas », cela faciliteras le glissement de la pluie le long des bottes pendant la phase chantier et limite grandement le risque de pénétration d'eau au sein de la botte.



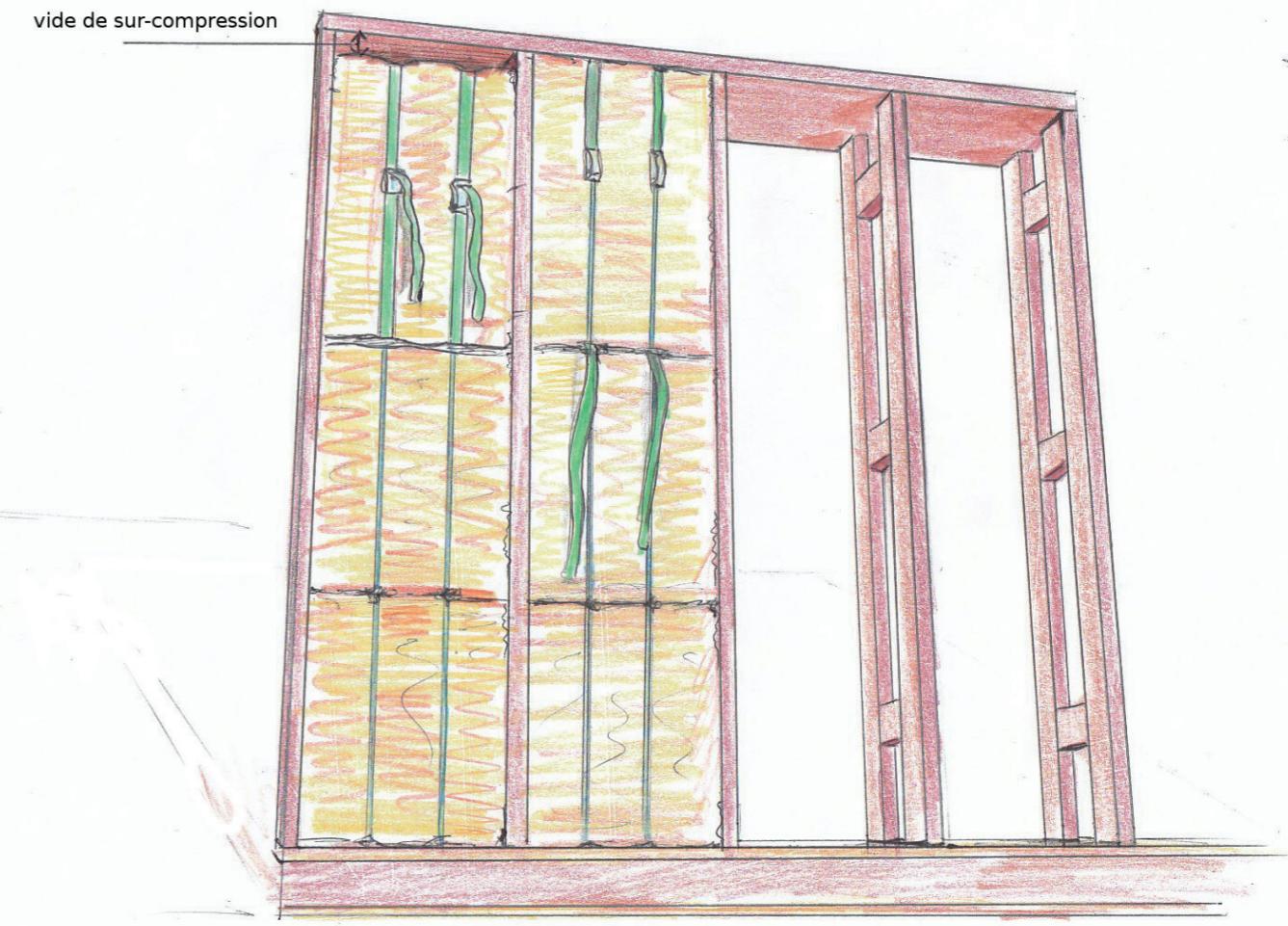
Les règles professionnelles nous demandent de caler les bottes, lorsqu'elles sont posées comme décrit ci-dessus, soit à chaque botte, soit toutes les trois bottes si on assure une compression de 3% sur leur hauteur. Caler chaque botte est assez simple : avec un lito de 2x4 cm, taillé en pointe, rentré sur le haut de la botte, et fixé contre un des deux montants d'ossature. L'opération est à répéter à chaque botte.

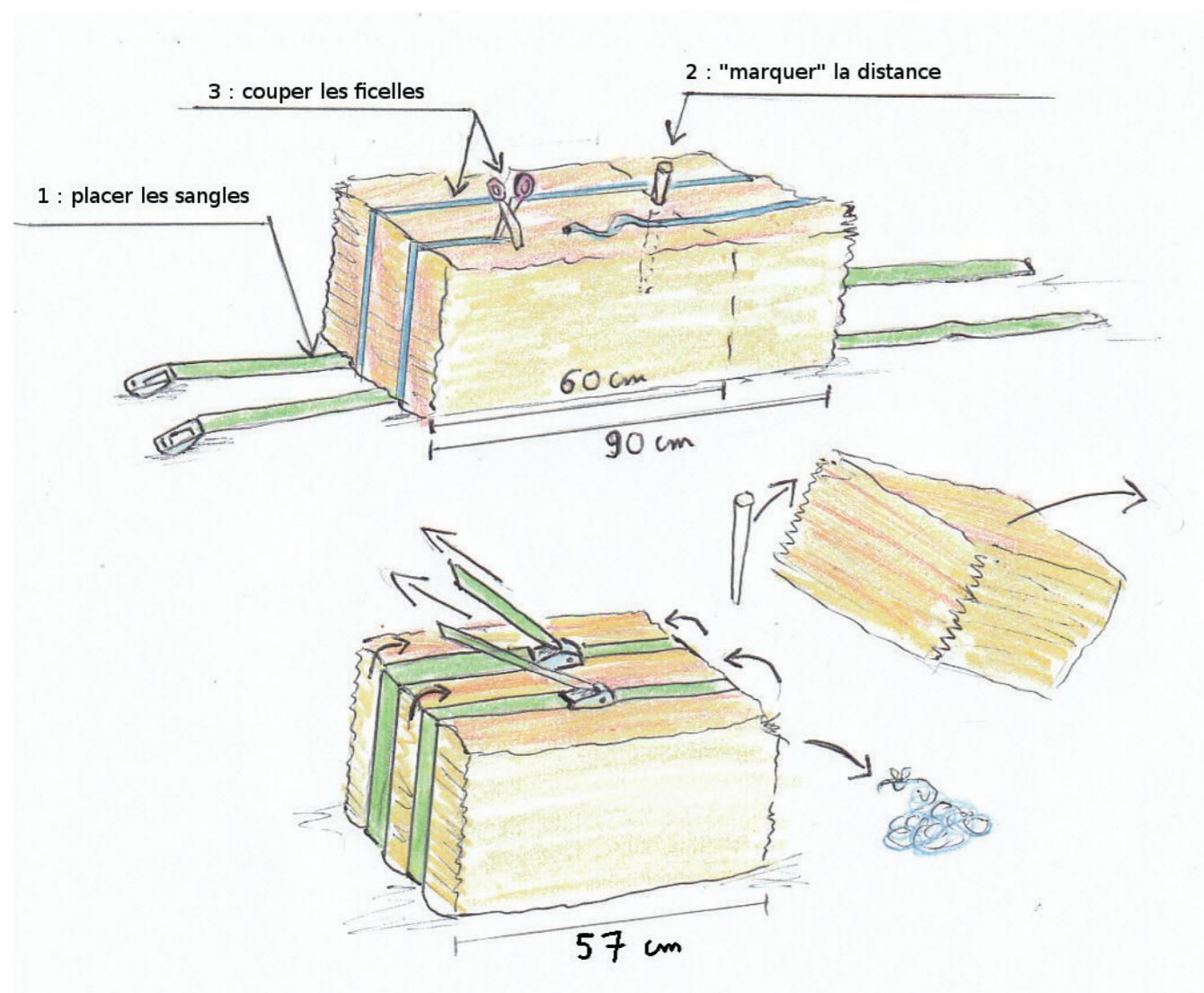


La compression de 3% sur l'ensemble du mur est également très simple à réaliser dans cette configuration de pose. Il suffit de sur-comprimer de 3% les bottes avec des sangles de type bagagiste (2,7 cm pour une botte de 90 cm par exemple) au moment de la pose. Une fois la colonne de trois bottes constituée et calée avec un lito à son sommet (ou contre la lisse haute), il suffit de détacher les sangles.

Poser la dernière botte en haut de la colonne:

Problème récurrent au moment du remplissage, poser la dernière botte en haut de mur est parfois une épreuve de force. En effet, faire coulisser une botte de 47 x 80 cm, (voir 83, si on veut une bonne tenue) dans un espace de 47 x 80 cm est souvent long et difficile, la paille ayant tendance à s'accrocher aux montants, entraînant une déformation de la botte, et un effet ressort contre-productif. Le fait de poser la botte debout, rend les choses beaucoup plus faciles. Arrivé en haut du mur, on se servira des sangles pour « retailler » une botte à la longueur du vide à combler, et pouvoir facilement finir son remplissage.





Pose des isolants complémentaires:

Les isolants complémentaires viennent combler tous les vides que la botte de paille, de par sa forme cubique, laisse au sein du bâti.

Ces rebouchages ont plusieurs fonctions:

- Éliminer les vides, pouvant créer des faiblesses thermiques au sein de la structure.
- Éviter les zones favorisant la condensation et assurer une bonne capillarité en tous points du mur pour optimiser la *perspirance*.
- Supprimer les cheminées favorisant la diffusion d'un feu potentiel.
- Casser les *ponts thermiques*.



On peut utiliser divers matériaux pour combler ces vides, y compris de la paille en vrac, ou du mélange terre-paille, à condition de bien la comprimer. Attention toutefois, c'est un travail long et fastidieux.

Une bonne technique consiste à utiliser un isolant souple en rouleau (type laine de bois par exemple), d'épaisseur égale à celle des échelles (40 mm dans les exemples données ici), il faut compter environ 0,17 m² d'isolant complémentaire par mètre linéaire d'échelle posée. Ou à l'inverse 1 m² d'isolant complémentaire pour 6 mètres linéaire d'échelle posée.

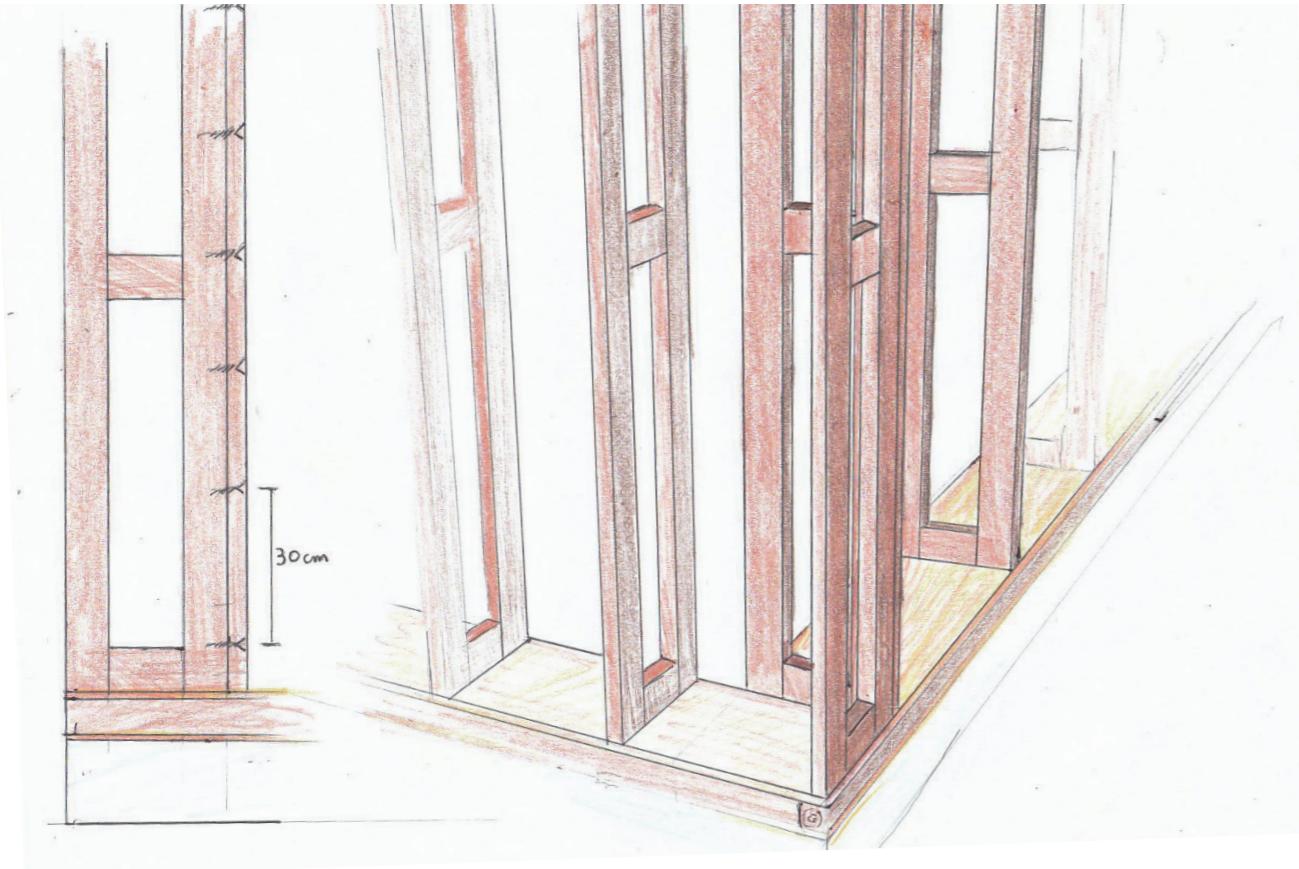
L'isolant complémentaire se pose contre une botte déjà fixée, avant de mettre en place le chausse-botte recevant la botte de la colonne suivante, et c'est beaucoup plus clair avec un beau dessin.

De même, un espace à isoler trop petit ou de forme inadéquate à la pose d'une botte retaillée, devra être isolé avec un isolant complémentaire. Dans le cas d'un isolant complémentaire, apparent au sein d'une paroi à enduire, cet isolant devra être compatible avec l'enduit prévu, ou recouvert d'une trame permettant cette accroche.



Traitements des angles

Au moment de raccorder les murs de façades entre eux, un chevauchement sera nécessaire. Cela permet de bien isoler les angles et de lier les différents murs entre eux. Au delà de la fixation au niveau des échelles, une attention particulière devra être portée à la façon dont les lisses hautes et basses sont connectées, de façon à assurer la tenue du bâti dans son ensemble. Encore une fois, les méthodes employées pour cela seront fonction des contraintes de charges structurelles sur les angles, liées aux caractéristiques du bâtiment.



Raccord mur/toiture et mur/sol

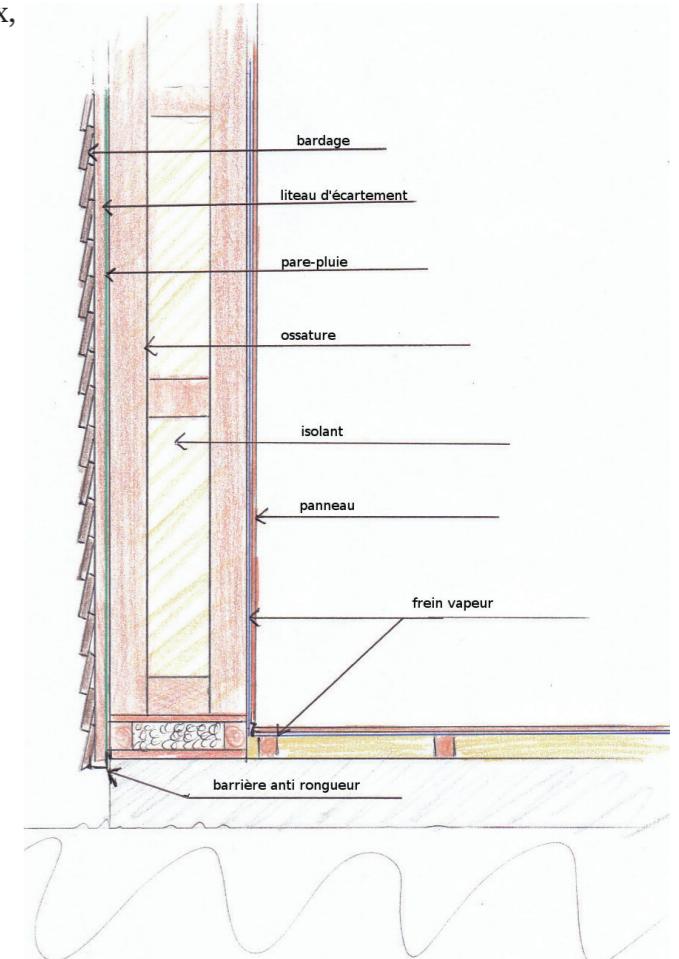
Outre les problèmes structurels, une attention particulière, notamment aux ponts thermiques (passage de chaud et/ou de froid par contact au sein d'un matériau conducteur) ainsi qu'à l'étanchéité à l'eau et à l'air devra être portée sur tous les endroits de liaison.

De par l'importance des distances concernées, les raccords du mur avec le sol, et avec la toiture, sont très impactants en cas de mauvaise mise en œuvre.

Plusieurs questions doivent trouver réponse à ce stade là.

- la tenue structurelle est-elle assurée ?
- l'isolation reste-t-elle efficiente en tous points ?
- Reste-t-il des ponts thermiques, et si oui, comment les limiter, voir les supprimer ?
- L'étanchéité à l'eau est-elle continue ?
- L'étanchéité à l'air est-elle continue ?
- les gardes au feu sont-elles maintenues ?

Dans le cas de surfaces habillées par des panneaux, la solution classique consiste à fixer un frein-vapeur entre l'isolant et le panneau d'habillage côté intérieur et un pare-pluie entre l'isolant et l'habillage côté extérieur; et de lier les différents morceaux de frein-vapeur et/ou de pare-pluie entre eux par des scotch dédiés. C'est une technique classique de l'ossature bois, très bien décrite par ailleurs. On l'utilise couramment pour réaliser le complexe toiture ou les dalles bois. Le dessin suivant en montre le principe.



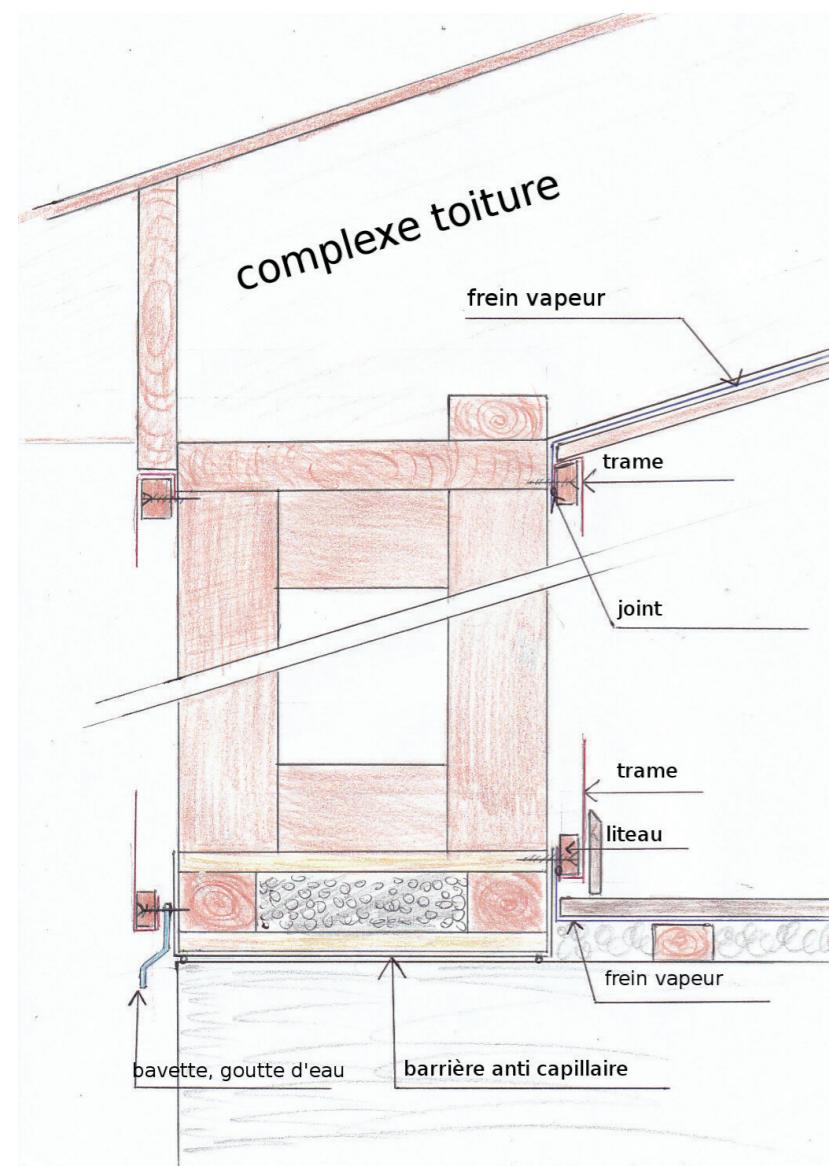
Les choses se compliquent un peu dans le cas d'une cloison enduite.

En effet, les enduits, et surtout les enduits terre voient leur volume fortement réduit au moment du séchage, ce qui crée des fissurations, parfois importantes notamment au niveau des parties en contact avec un autre matériau.

Pour maintenir la cohésion nécessaire, il existe de nombreux dispositifs tels que des scotch tramés, des « grillages » à fixer, etc... Ces matériaux, couramment fournis dans le commerce, sont livrés avec leur mode d'emploi, je ne m'y arrêterai donc pas.

De mon côté, j'utilise des liteaux sur lesquelles j'agrafe des morceaux de toile de jute, puis que je visse et/ou colle contre les freins-vapeur existants. Outre le fait d'assurer une bonne tenue de l'enduit au contact et de garantir une bonne isolation à l'air, ces liteaux servent aussi de règles lors de la pose de l'enduit et finissent noyés dans la masse. C'est pourquoi je les préfère aux produits industriels existants.

En voici le principe de pose, nous y reviendrons plus en détail dans le chapitre consacré aux enduits.



Points particuliers

chapitre 5

Si un bâtiment se résumait à des murs surmontés d'une toiture, les choses seraient (relativement) simples. Allez savoir pourquoi, on s'obstine à vouloir y faire des trous pour y mettre des portes, des fenêtres, des tuyaux et autres équipements divers et variés.

Chacun de ces trous va créer des problématiques liées à l'étanchéité à l'eau et à l'air.

Pour y répondre, les solutions sont multiples et variées et il est impossible de toutes les aborder ici. Voici donc quelques mises en œuvre simples qui fonctionnent dans la plupart des cas, et un rappel des principaux risques à éviter.

les ouvrants, baies, portes et fenêtres

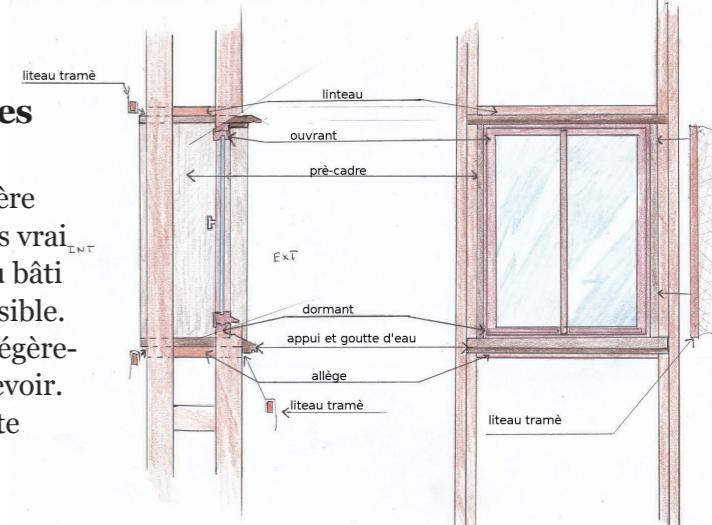
Tout d'abord, et pour ne pas changer, la première contrainte reste structurelle. C'est d'autant plus vrai sur les ouvrants car la moindre déformation du bâti peut rendre leur pose compliquée, voire impossible. D'une façon générale, on posera des ouvrants légèrement plus petits que le trou prévu pour les recevoir. Il est effectivement plus facile de caler une porte que de la raboter.

De même, la règle veut que l'on double les montants d'ossature au niveau des ouvrants.

Au-dessus de l'ouvrant, une pièce de bois venant recevoir les charges est posée, on l'appelle le linteau. Au dessous, la pièce s'appelle l'allège.

La solution que je propose ici consiste à fabriquer un pré-cadre sur toute l'épaisseur du mur, enduit compris. Il permettra d'une part, de bien fixer les enduits dessus grâce à des liteaux tramés à chaque raccord bois/enduit. D'autre part il viendra recevoir la baie.

La baie peut être posée à n'importe quel niveau dans l'épaisseur du mur avec un minimum d'ajustement, bien que pour des raisons de protection de la paille à l'eau, je préconise plutôt une pose au nu du mur extérieur. En finition, pour protéger les raccords enduit/bois, un couvre joint peut être posé. En point haut et point bas, des débords en pente, munis de « goutte d'eau » en sous-face, viendront éloigner les écoulements du mur.



l'électricité

Sous panneau:

Poser des circuits électriques sous un panneau reste assez simple, et ce de façon classique avec les techniques courantes du bâtiment. Néanmoins dans un souci de protection au feu d'une part et d'étanchéité à l'air d'autre part, je préconise des boîtiers étanches, collés ou scotchés contre le pare-vapeur (ou le pare-pluie côté extérieur).

D'une façon générale, les gaines se plaquent contre les bottes de paille avant la pose des panneaux et peuvent nécessiter la création de tranchées au sein de la botte, surtout en cas de chevauchement de gaine. Pour les fixer, on peut tout simplement les passer sous les ficelles des bottes, il est aussi possible de les coller contre les bottes ponctuellement avec du plâtre.

Pour le passage des ossatures, il est possible de faire une entaille sur le montant pour recevoir la gaine, mais la meilleure solution consiste à anticiper ce passage en amont, et à faire passer la gaine entre les deux montants d'échelle pendant la pose des bottes de paille.

Sous enduit:

Le passage des gaines et des équipements électriques impacte directement sur l'épaisseur de l'enduit.

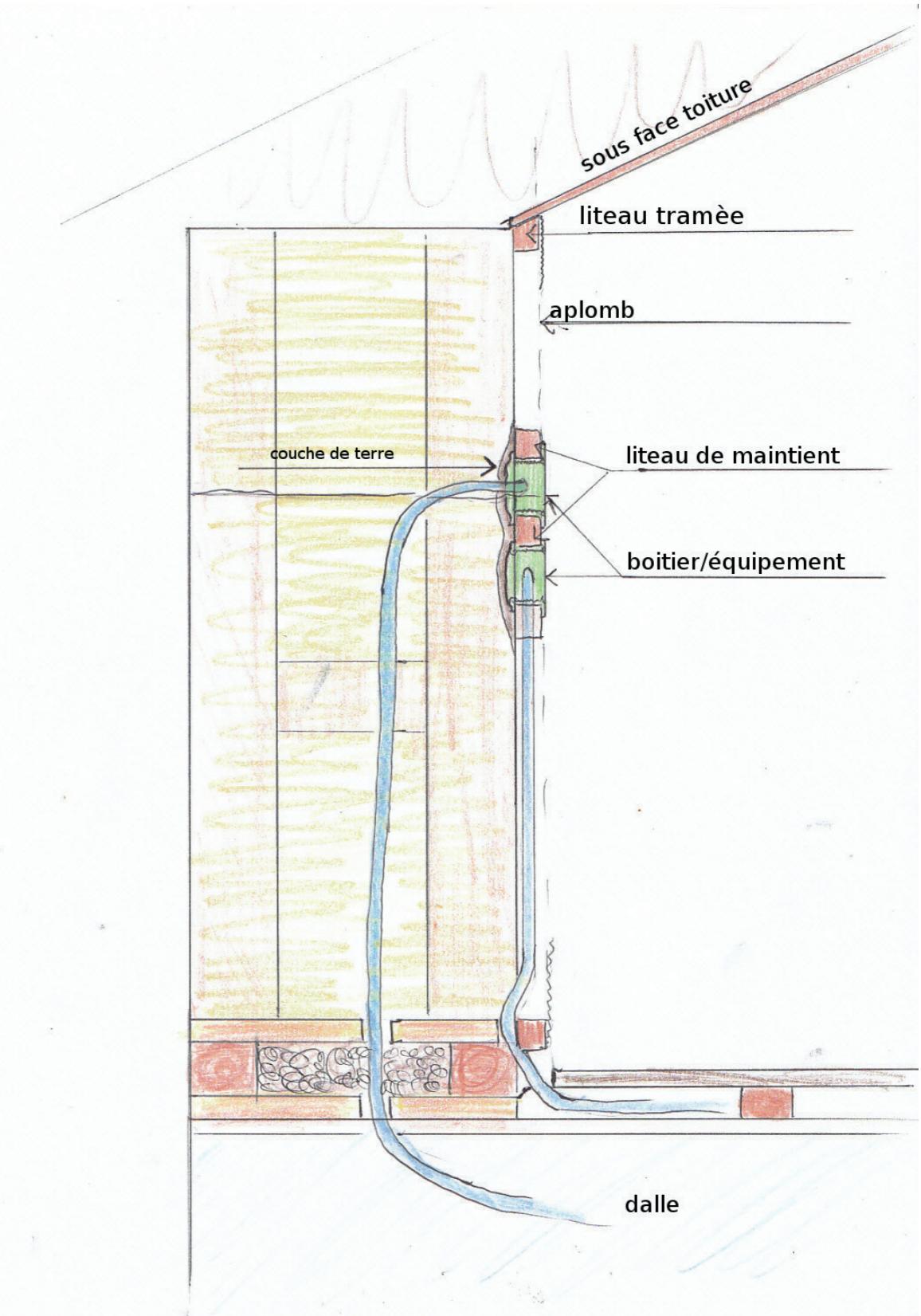
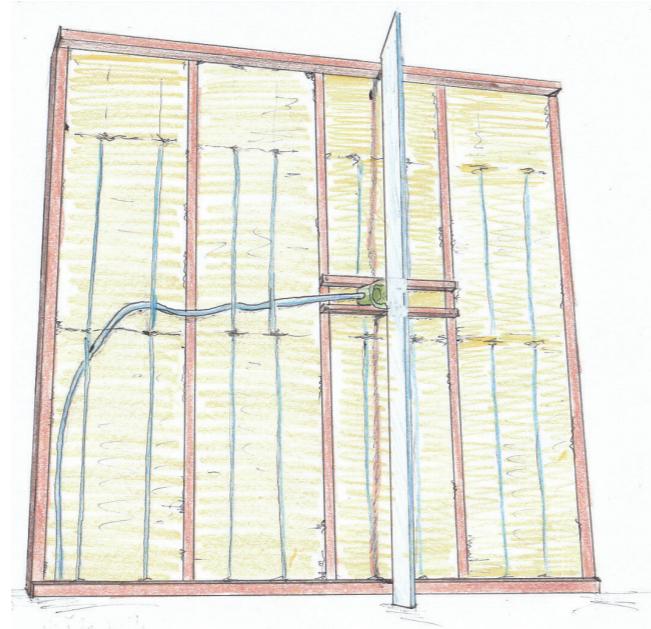
En effet, il est beaucoup plus simple de prévoir un corps d'enduit suffisamment épais pour recouvrir ces équipements, plutôt que de faire des entailles dans chaque montant ou des niches dans les bottes de paille. Il est bon de signaler qu'un enduit sur botte de paille ne doit jamais faire moins de 2 cm d'épaisseur.

C'est là que le choix des liteaux tramés en haut et en bas de mur prend toute son importance.

Ils servent ainsi de règles : C'est leur épaisseur qui va définir l'épaisseur de l'enduit et la pose des équipements, le tout devant être aligné à l'aplomb du mur.

Au niveau des équipements (boîtiers, boîtes de dérivation, etc...), une couche de barbotine de terre bien épaisse, voir doublée avec du corps d'enduit, viendra habiller la botte de paille avant la pose de l'équipement proprement dit. Ceci permet, outre une garde au feu efficiente, une bonne liaison des enduits au niveau du boîtier, et donc une bonne étanchéité à l'air (et à l'eau).

Les montants d'ossature, apparents en surface de mur, viendront accueillir les systèmes de maintien des équipements, en permettant de les fixer de façon très précise.



La plomberie

Je déconseille vivement le passage des éléments de plomberie au sein des murs en bottes de paille, toute fuite pouvant entraîner une dégradation importante du mur en paille nécessitant des travaux structurels lourds.

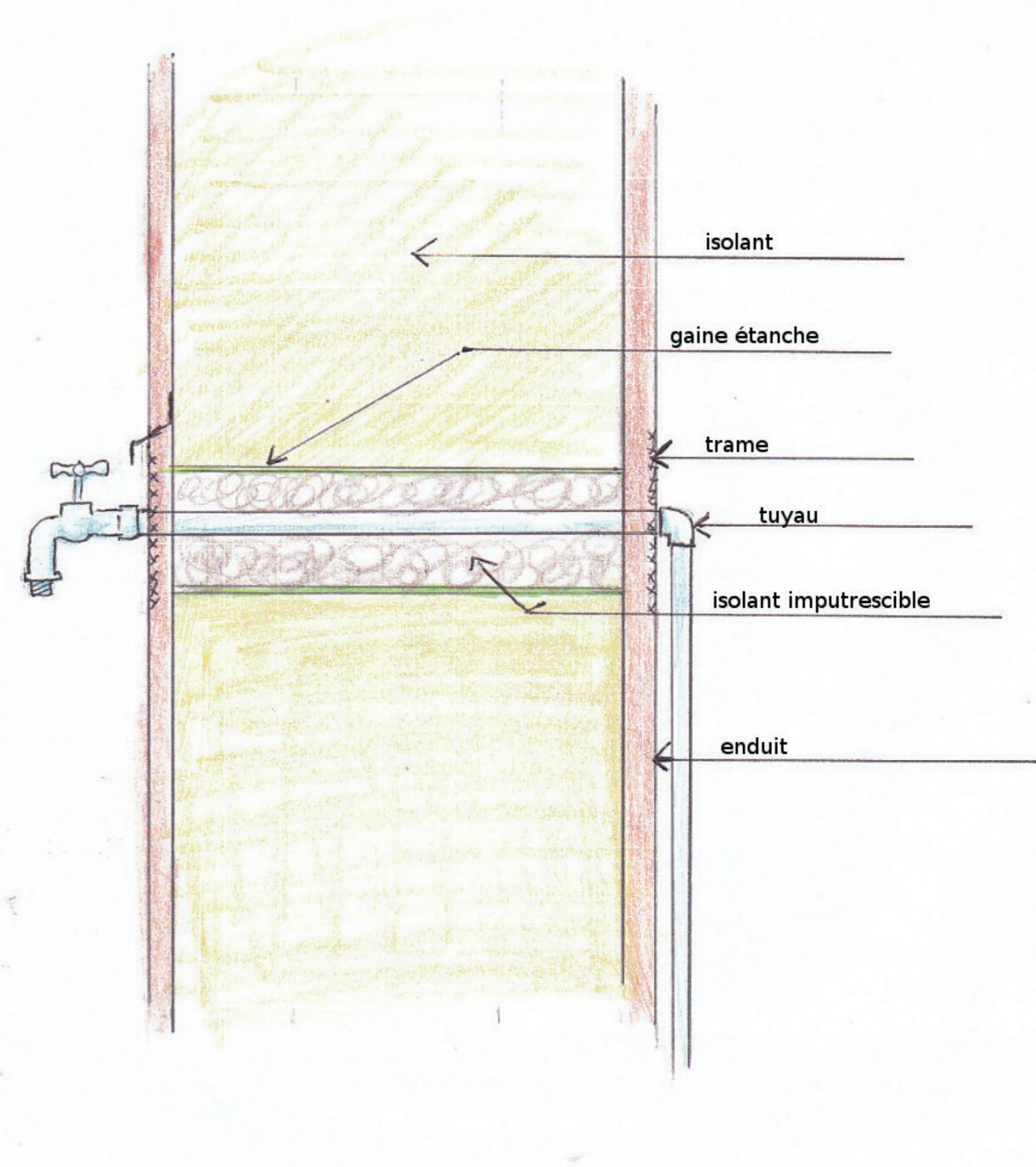
Les tuyaux et équipements seront passés en apparent ou sous goulotte. Si vraiment on souhaite tout de même les faire disparaître au sein des murs, je conseille de les faire courir dans les cloisons intérieures et pas dans les murs périphériques. En revanche, rien n'empêche de les fixer sur les montants d'ossature, à travers les panneaux ou les enduits. Dans ce cas, une attention particulière devra être portée au maintien de l'étanchéité à l'air au niveau des fixations.

Les percements de mur

Il est parfois nécessaire de traverser le mur en paille de part et d'autre pour amener de l'eau, de l'air ou de l'électricité de l'intérieur vers l'extérieur et réciproquement.

Toute traversée de paroi entre un volume chauffé et un volume froid entraîne la condensation de la vapeur d'eau présente dans l'air. Cette condensation va se retrouver au sein du mur et peut à terme entraîner une dégradation de l'isolant.

Pour régler ce problème, on mettra en place un système de double gaine, permettant la pose d'un isolant imputrescible entre elles, de façon à éliminer l'impact de cette condensation.



les parements

chapitre 6

les enduits terre, plâtre et chaux

Les enduits couramment utilisés dans la construction en bottes de paille sont les enduits chaux, terre ou plâtre. Les enduits ciment et les enduits résinés sont à éliminer en raison de leur faible capacité à gérer les transferts d'humidités à travers les parois (perspirance, cf chap 2)

Outre le fait que les parements doivent être plus « ouverts » côté extérieur du mur que côté intérieur, il est aussi très important de les maintenir le plus « ouverts » possible.

En effet, la gestion hydrique des enduits, et leur capacité à se décharger de leur humidité vers l'extérieur est loin d'être négligeable dans le confort thermique et hydrique du bâtiment. Cela joue directement sur le ressenti des habitants.

Une VMC, quel qu'elle soit, même si elle répond aux exigences sanitaires et thermiques normatives, ne saurait répondre à ce besoin de confort, j'en parle d'expérience... De plus, je n'ose pas imaginer les conséquences d'une coupure d'électricité un peu prolongée dans certains bâtiments étanches, tels qu'on les conçoit aujourd'hui.

Il est à noter que même si le plâtre, la chaux et la terre sont tous les trois plutôt satisfaisants en terme de perspirance, la terre est plus perspirante que la chaux qui l'est plus que le plâtre.

Chaux et plâtre

La chaux et le plâtre sont des matériaux dit normés. C'est à dire que les fabricants donnent les recettes et les préconisations nécessaires à la bonne exécution des enduits. La seule particularité liée à la pose d'enduit sur bottes de paille est qu'une première couche d'accroche assez liquide (lait de chaux ou gobetis) viendra enrober les premiers brins de paille en surface de la botte, de façon à créer une interface satisfaisante pour l'accroche de l'enduit. Cette enrobage doit au moins pénétrer de 5 mm dans la botte. Ensuite, on suivra les préconisations données par le fabricant. L'épaisseur minimum de l'enduit, couche d'accroche comprise doit être de 25 mm.

La terre crue

En terme d'écologie, la terre crue est indéniablement la championne toute catégorie et je la préconise systématiquement dans les bâtiments que je conçois. En voici les principales raisons.

- issue directement de l'extraction, sans passage par une industrie de transformation, l'énergie grise nécessaire à sa production est beaucoup plus faible que pour tous les autres liants.
- Elle est réutilisable à l'infini par simple trempage dans de l'eau.
- Elle ne se périme jamais
- Elle retourne à la terre après démolition sans aucun impact en terme de pollution
- C'est un dépolluant naturel de l'air intérieur

- C'est un régulateur extrêmement efficient de l'hygrométrie ambiante
- C'est un très bon matériau à inertie
- Il ne présente aucun caractère de dangerosité lors de sa manipulation et de sa pose (pas de réaction chimique)
- De par sa tenue en épaisseur (jusqu'à 10 cm en une passe). Il permet une liberté de forme, allant jusqu'à la création de bas relief au sein du mur.
- C'est un régulateur extrêmement efficient de l'hygrométrie ambiante
- C'est un très bon matériau à inertie
- Il ne présente aucun caractère de dangerosité lors de sa manipulation et de sa pose (pas de réaction chimique)
- De par sa tenue en épaisseur (jusqu'à 10 cm en une passe) Il permet une liberté de forme, allant jusqu'à la création de bas relief au sein du mur.
- Son coût est modique par rapport aux autres enduits du commerce (il faut quand même un peu chercher), l'idéal étant de récupérer la terre liée aux travaux de terrassement lors de la préparation du chantier.
- Sa mise en œuvre reste très simple.

Composition des enduits terre

Les enduits de corps, assurant la protection des bottes de paille et la pérennité du bâti sont composés de terre, telle que définie grâce aux test ci-dessous, amendée de paille pour en assurer l'absence de fissuration et en renforcer la tenue.

Il existe tellement de recettes que prétendre définir ici une recette type n'a pas vraiment de sens. Une rapide recherche sur le net, montre à quel point le sujet est vaste et cela se comprend bien quand on sait que chaque terre a des caractéristiques différentes selon le type d'argile et de sable qu'elle contient.

En tous les cas, une terre se teste pour savoir si elle convient à la réalisation d'enduit. Trois tests simples permettent de définir cela, ils sont définis par les règles professionnelles, en voici un rappel méthodologique. De même les explications qui suivent sur les techniques de pose, sont issues des règles professionnelles d'une part et de mon expérience d'autre part, les deux étant éminemment compatibles.

Test du bocal

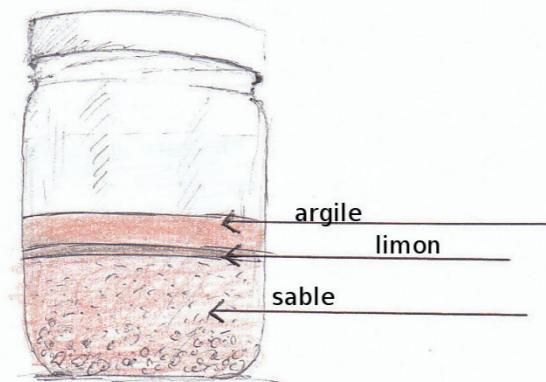
Il sert à savoir de quoi est composée la terre dont on dispose.

- Dans un bocal, mettre 1/3 de terre sans caillou, 1/3 d'eau, 1/3 de vide. Fermer le bocal et bien mélanger façon shaker. Laisser reposer quelques heures. Recommencer l'opération plusieurs fois puis laisser reposer 24h.

- les différents constituants de la terre vont se déposer par couches : le sable au fond, les limons entre les deux, l'argile en haut, l'eau en dernier.

Ceci permet de définir les proportions, surtout entre terre et argile. En gros, et selon les sables et les limons présents, une terre aux alentour de 20% d'argile convient plutôt bien pour la réalisation d'enduit.

test du bocal

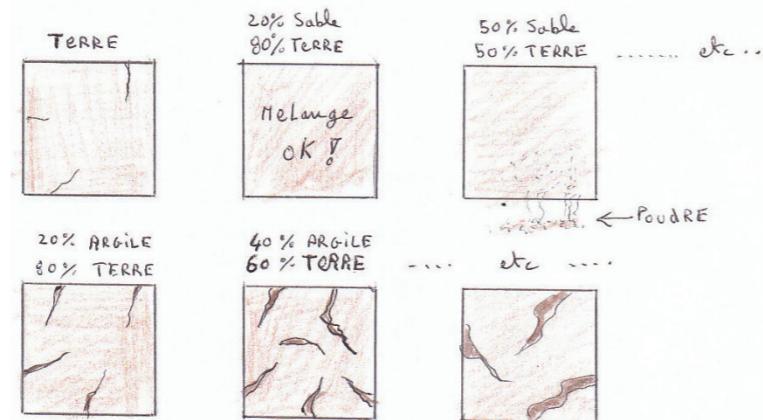


Test à la tension des enduits

Il sert à définir la bonne composition du mélange.

- réaliser plusieurs carrés d'enduit de 20x20 cm et d'épaisseur égale à l'enduit prévu
- chaque carré sera composé d'un mélange différent, amendé au sable ou à l'argile, en quantité de plus en plus importante.

test à la tension des enduits



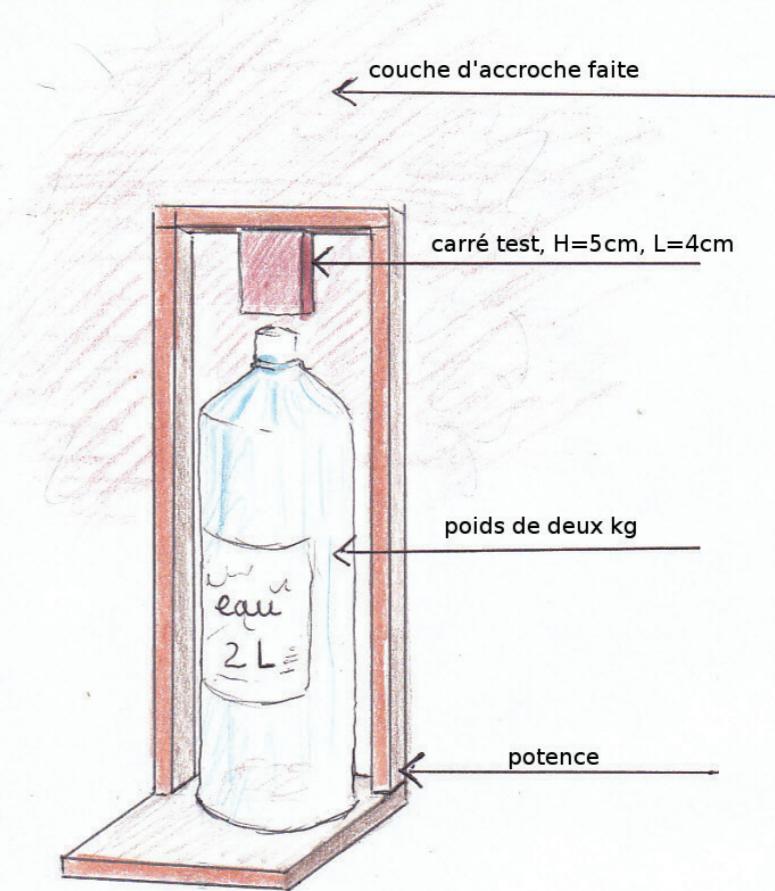
- chaque carré sera composé d'un mélange différent, amendé au sable ou à l'argile, en quantité de plus en plus importante.

Test à la tenue au cisaillement

Il sert à valider la bonne cohésion entre l'enduit et son support.

- Directement sur le mur en botte de paille on posera quatre carrés d'enduit de 5 x 4 cm dans les règles de pose décrites plus loin.
- Laisser sécher
- Une fois sec, on y fixe une potence en appui, avec une charge de 2 KG
- On attend au moins 30 seconde par carré. Si tous les carrés tiennent, l'enduit est validé.
- Pour info, ce test montre que l'enduit tient une charge à l'arrachement d'une tonne par m².

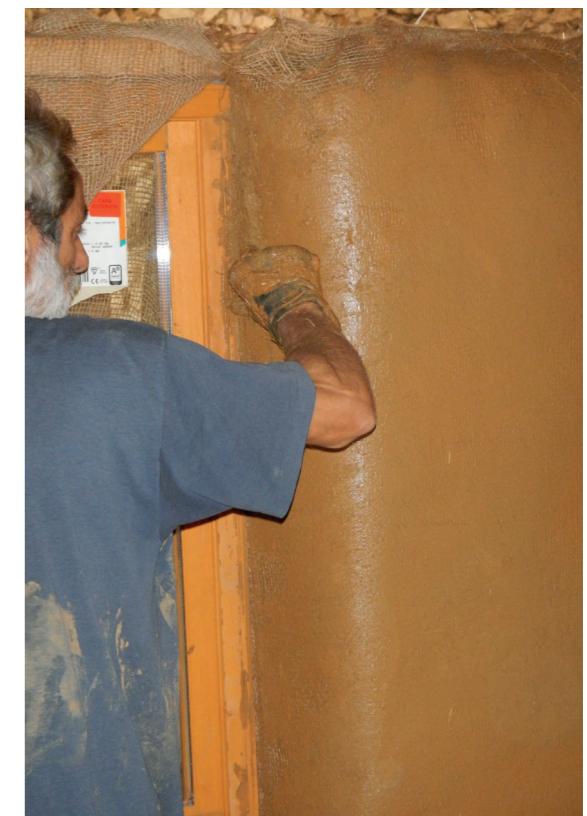
test de tenu au cisaillement



Nos enduits sont maintenant définis et on peut passer à la pose proprement dite. Notez bien que les épaisseurs données ici sont les épaisseurs a minima. Le rôle de l'enduit terre dans la régulation thermique et hydrique du bâti est directement lié à la quantité de matière posée. Un enduit de corps de 4 cm en intérieur est assez courant.

Cette pose se fait en trois phases:

la couche d'accroche: 5 mm minimum. Composée d'argile liquide et d'un peu de sable (50/50 en gros), elle se fait très liquide et sert à enrober les brins de paille superficiels de la botte pour permettre l'accroche de l'enduit. Lors de cette phase, on peut tremper de la paille dans ce mélange pour faire un terre/paille servant à boucher les éventuels trous présents entre les bottes.



la couche de corps: 10 mm minimum. Appelée ainsi car elle compose le corps d'enduit, entre le support et la finition. Elle est posée sous forme plastique, par boules posées les unes à côté des autres, à l'épaisseur du mur fini en s'aidant des liteaux en haut et bas de mur, sur lesquels on vient appliquer une règle métallique pour l'aplomb. Les trous sont bouchés, les sur-épaisseur ôtées, le mur est dressé le plus proprement possible. A chaque raccord d'enduit avec un autre matériau (le plus souvent du bois) un liteau tramé vient recevoir l'enduit, et la trame est noyée dans l'enduit par serrage.

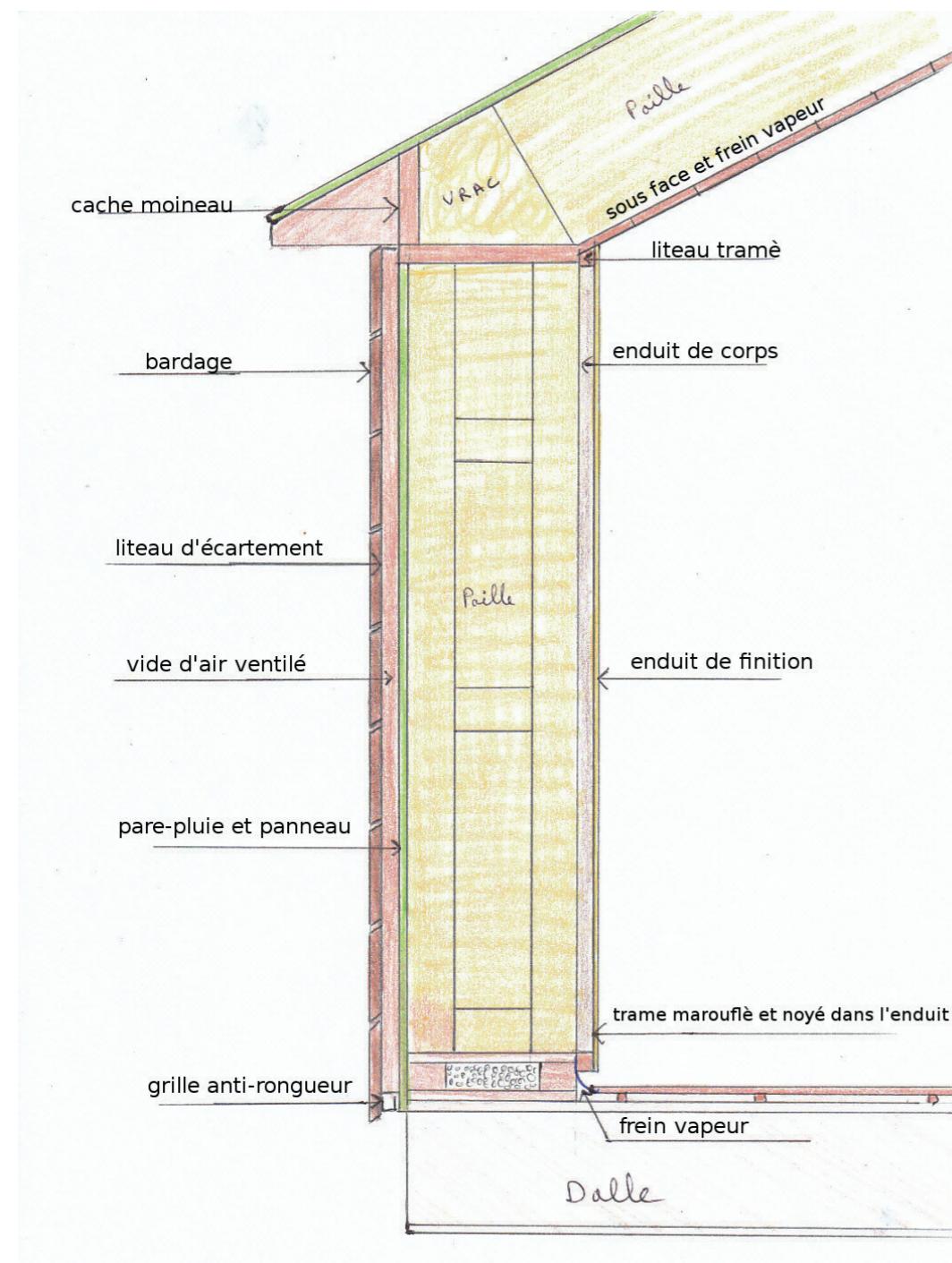
L'enduit de finition: 5 mm minimum. Il sert à protéger la couche de corps dans le temps et à donner l'aspect fini au mur par le choix de couleur et de texture. Une finition à la chaux (enduit fin ou badigeon) est tout à fait possible sur un enduit terre.



les bardages et panneaux

Comme on l'a vu dans le chapitre sur l'électricité, la pose d'isolant paille sous panneau est directement liée aux techniques de l'ossature bois, puisque ici, la paille joue le rôle de n'importe quel autre isolant.

La seule chose qui change est l'épaisseur de l'ossature (37 cm). Dans le schéma ci-dessous, un plan en coupe montre d'une part la pose d'un enduit terre en intérieur et d'autre part, la pose d'un bardage ventilé sur panneau pare-pluie en extérieur.



Les cloisons, terre paille et torchis

chapitre 7

La paille alliée à la terre sert, sous diverses formes, de matériau de construction depuis des millénaires, des villes de l'Egypte ancienne aux fermes du Lauragais.

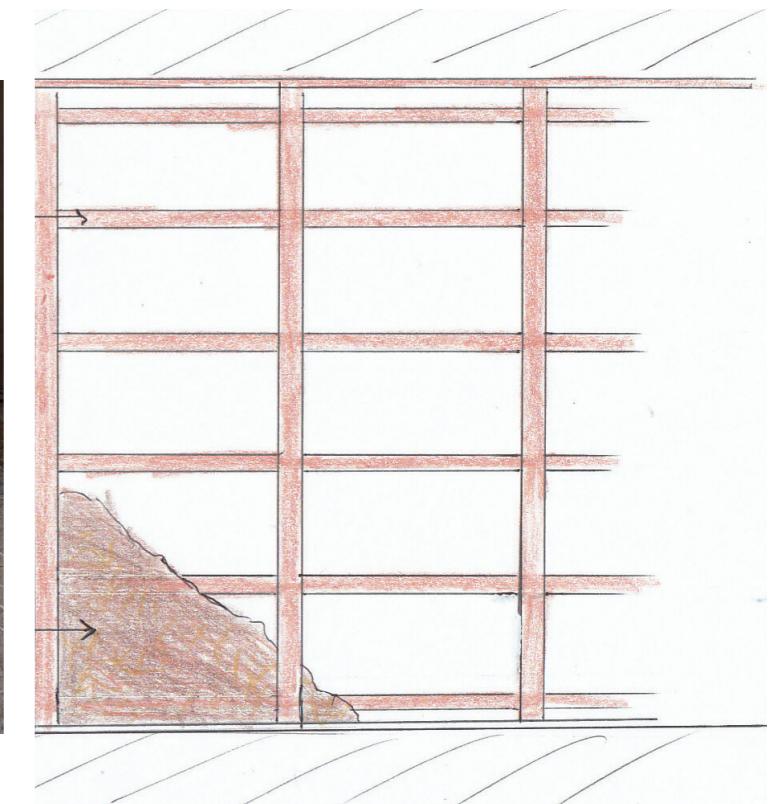
Toutes ces techniques ont fait leurs preuves et sont extrêmement respectueuses de l'environnement. Il est fort dommageable que les procédures de validation des matériaux de construction en France interdisent la plupart de leurs mises en œuvre dans le bâti moderne, alors que des règles professionnelles les permettent en Allemagne ou en Autriche, par exemple.

Voici un bon exemple qui démontre à la fois la main mise des lobbies industriels sur les matériaux de construction et leurs usages, mais aussi l'incurie complice et scandaleuse de nos politiciens dans le cadre de l'urgence climatique que l'on connaît.

Du paille /terre, permettant de fabriquer, par enrobage des fibres de paille dans une barbotine très liquide, un isolant structuré en complément d'isolation, jusqu'au torchis, permettant la création de cloisons, les mélanges terre/paille ont de nombreuses fonctions et répondent à de très nombreuses problématiques dans le bâtiment.

Pour ajouter de l'inertie thermique au sein du bâti, créer des cloisons phoniques efficientes, gérer l'hygrométrie du bâti, etc... je préconise généralement la fabrication de cloisons intérieures en torchis, pour l'inertie, ou en paille/terre allégée pour l'isolation (pour séparer un cellier de la pièce à vivre par exemple).

Ci dessous un schéma en montrant le principe constructif.



Conclusion

chapitre 8

J'espère avoir répondu dans cet ouvrage à certaines de vos attentes techniques. Je suis très conscient cependant que ce livre ne fait que survoler celles auxquelles vous serez confrontés, tant les cas particuliers sont nombreux et le plus souvent spécifiques au bâtiment concerné.

De même, il existe aujourd'hui des règles professionnelles très précises et claires sur toutes les procédures de validation et de mise en œuvre des bottes de paille, vouloir en faire ici ne serait-ce qu'un résumé est une gageure et serait même à mon sens une erreur. L'ouvrage que vous venez de consulter vient en complément de ces règles que je ne saurais trop vous conseiller de vous procurer.

Je vous invite à « faire vos armes » pour commencer sur de petits bâtiments, tels un garage par exemple, ou encore d'aller pratiquer sur des chantiers participatifs bien encadrés, vous apprendrez en effet toujours plus de choses par la pratique que par la simple lecture.

En vous souhaitant un beau voyage constructif.

Stephan



