

Notice RésiWay

ResiWay AISBL est une association à but non lucratif dont l'objectif est de faciliter les actions écologiques et de permettre à chacun de participer à rassembler les informations pratiques issues de l'accumulation d'expériences individuelles et collectives.

Ce document est repris dans la [bibliothèque en ligne ResiLib](#) dont le but est de diffuser des documents offrant des retours d'expériences et informations didactiques pour faire soi-même, de manière écologique et à faible coût.

Tout est mis en oeuvre pour proposer des informations exactes et de qualité.

Toutefois **ResiWay n'est pas l'auteur** de ce document et ne peut donc assumer la responsabilité de l'exactitude, de l'actualité et de l'intégralité des informations mises à disposition.

Document

Auteur: Cedric & Isabelle FRANCOYS

Note: ce nom peut être incomplet, inconnu ou un pseudonyme, selon la volonté de l'auteur

Titre original: Toiture plate pour une maison en paille

ResiLink: Ce document est accessible à tout moment à cette adresse, et le restera toujours

https://www.resiway.org/document/58/Francoys-Cedric-DEBRABANDERE-Isabelle_Toiture-plate-pour-une-maison-en-paille_2011_fr

URL originale: http://www.icway.be/index.php?get=icway_resource&mode=download&res_id=4

Note: Il est possible que cette adresse soit inconnue, n'existe plus ou que le contenu original ait été remplacé

Droits d'auteur

Ce document a été mis à disposition par l'auteur sous une licence permettant sa libre diffusion avec "**certains droits réservés**". Les droits à appliquer doivent **respecter les indications de l'auteur** cité ci-dessus ou, à défaut, la licence **CC BY-NC-SA 3.0** - <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/fr/> :



Attribution - Vous devez créditer l'oeuvre, intégrer un lien vers la licence et indiquer si des modifications ont été effectuées. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens raisonnables, sans toutefois suggérer que l'auteur original vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son oeuvre.



Pas d'Utilisation Commerciale - Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette oeuvre, tout ou partie du matériel la composant.



Partage dans les Mêmes Conditions - Dans le cas où vous effectuez un remix, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'oeuvre originale, vous devez diffuser l'oeuvre modifiée dans les mêmes conditions, c'est à dire avec la même licence avec laquelle l'oeuvre originale a été diffusée.

III. Réaliser la toiture d'une maison en autoconstruction

Introduction	1
III.1. Charpente	2
1ère étape : Poteaux de soutènement intérieurs	2
2ème étape : Fermes	3
3ème étape : Solives	5
4ème étape : Mise hors d'eau provisoire	5
5ème étape : Planches sur les solives	5
6ème étape : Fixation des gaines électriques	6
III.2. Murs de la toiture - technique GREB	7
1ère étape : Ossature en bois.....	8
2ème étape : Remplissage des murs : ballots de paille et mortier.....	8
III.3. Remplissage de la toiture	10
1ère étape : Membrane de diffusion, freine-vapeur ou pare-vapeur	10
2ème étape : Isolation thermique avec ballots de paille enveloppés entre deux couches de mortier.....	11
III.4. Couverture.....	13
1ère étape : Protection	13
2ème étape : Membrane d'étanchéité EPDM.....	13
3ème étape : Débordement de toit en ardoises	15
4ème étape : Lestage de la couche d'étanchéité	16
III.5. Calculs de résistance	17
Poids de la toiture.....	17
Résistance des solives	18
Résistance des fermes.....	18
Résistance des piliers	18
Résistance des murs.....	19

Isabelle DE BRABANDERE & Cédric FRANCOYS

www.ICway.be

février 2011

Ce document est mis à disposition selon le Contrat Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
ou par courrier postal à Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.

Introduction

A propos de notre démarche

Ayant le projet de construire nous-mêmes notre maison, nous avons, comme de nombreux autoconstructeurs en herbe, consulté différentes sources d'information, réfléchi à de multiples options et fait de nombreux calculs et schémas. Ainsi, afin de nous aider à planifier la construction, nous nous sommes constitué différentes fiches techniques en reprenant le résultat de nos analyses de manière synthétique, en présentant les étapes de la construction de manière chronologique, et en tâchant de rendre accessibles des techniques parfois compliquées.

En mettant ces fiches à disposition de tous, nous souhaitons partager notre expérience et peut-être faciliter la tâche à d'autres autoconstructeurs. Notre idée est que, si nous pouvons le faire, cette démarche est à la portée du plus grand nombre !

Nous n'avons cependant pas la prétention ni les compétences de substituer ces fiches à des livres techniques ou aux conseils de professionnels. De fait, nous abordons uniquement les aspects liés à la construction de notre maison (50 mètres carrés), selon les techniques que nous avons retenues, et avec les postulats que nous nous sommes fixés (budget restreint, autoconstruction, matériaux locaux et écologiques) et les contraintes auxquelles nous avons été confrontés (normes urbanistiques, législation et disponibilité des matériaux).

A propos de cette fiche

Dans cette fiche, nous présentons comment construire un toit plat étanche, écologique et économe en énergie.

Pourquoi un toit plat ? La réponse est simple : parce que c'est une norme urbanistique dans notre région. Si nous avions pu choisir, nous aurions opté pour un toit à double rampant, permettant un meilleur écoulement des eaux de pluie et offrant davantage de possibilités pour réaliser l'étanchéité de manière écologique.

Nous avons en outre fait les choix suivants pour la mise en œuvre :

- Nous utilisons une technique de « toit chaud », c'est-à-dire que l'isolation thermique est placée au-dessus de la structure portante et sous la couche d'étanchéité ;
- Le toit, malgré qu'il soit « plat », présente une légère pente (15 cm de dénivelé sur 6 m, soit 2,5% ou 1,43°) pour éviter les accumulations d'eau ;
- La pente du toit est assurée par le support (charpente).

Enfin, il nous reste à préciser que nous avons réalisé les plans de la maison, dont certaines vues figurent dans le présent document, à l'aide du programme gratuit Google Sketchup.

III.1. Charpente

Principes de base

- Selon la technique de construction des murs du GREB, la charge de la toiture doit être mise seulement quand les murs autoporteurs sont terminés.
- Les murs longitudinaux de la maison ayant une différence de hauteur (2,2 et 2,35 m, comme décrit dans le dossier 2), ils permettent à la **charpente** d'être en pente et d'assurer ainsi la légère inclinaison de la toiture.
- La charpente reprend le poids et les charges de la couverture. Cette structure porteuse est composée de **piliers de soutènement intérieurs**, de **fermes** et de **solives** et d'un **plancher sur les solives**.

Outils

- Scie égoïne
- Scie circulaire
- Perceuse-visseuse
- Fil à plomb
- Niveau d'eau

Matériaux

- 2 piliers de 2,158 m (section 20 X 20 cm) = 1 de 6 m de long
- 1 poteau de 2,485 m + 2 poteaux de 2,925 m (section 24 X 20 cm) = 1 de 8 m de long
- 34 poutres de bois de sapin de 7,5 cm X 15 cm X 3 m
- Fixations des poteaux : 4 L métalliques, 4 goujons et 4 grosses vis

Tâches

1ère étape : Poteaux de soutènement intérieurs

Deux poteaux sont placés à l'intérieur de la maison, afin de soutenir les fermes de la charpente.

Dimensions d'un poteau :

Section : **20 X 20 cm**

Hauteur: **2,158 m**

Fixation des poteaux au sol aux 4 côtés du poteau, avec des L métalliques, 4 goujons et 4 grosses vis.

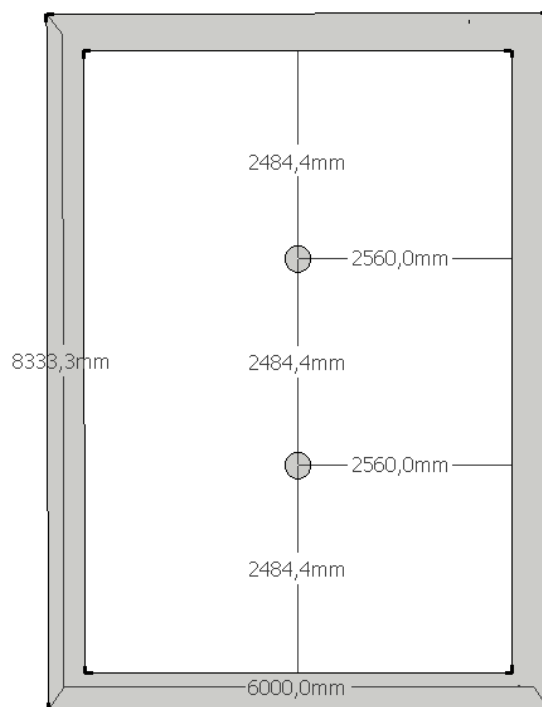


Fig. 1. Emplacements des poteaux de soutènement.

2ème étape : Fermes

Ce sont les poutres horizontales qui reposent sur deux murs porteurs ainsi que sur les poteaux de soutènement intérieurs.

Dimensions :

Section : **24 X 20 cm**

Longueur des deux fermes reposant sur les murs latéraux : **2,925 m**

Longueur de la ferme centrale : **2,485 m**

Fixation des fermes aux poteaux de soutènement intérieurs avec tiges filetées (12 de 25 cm de long, 15 mm de diamètre), raccords métalliques (12 de 0,5 cm d'épaisseur) et boulons (24 de 16 mm de diamètre).

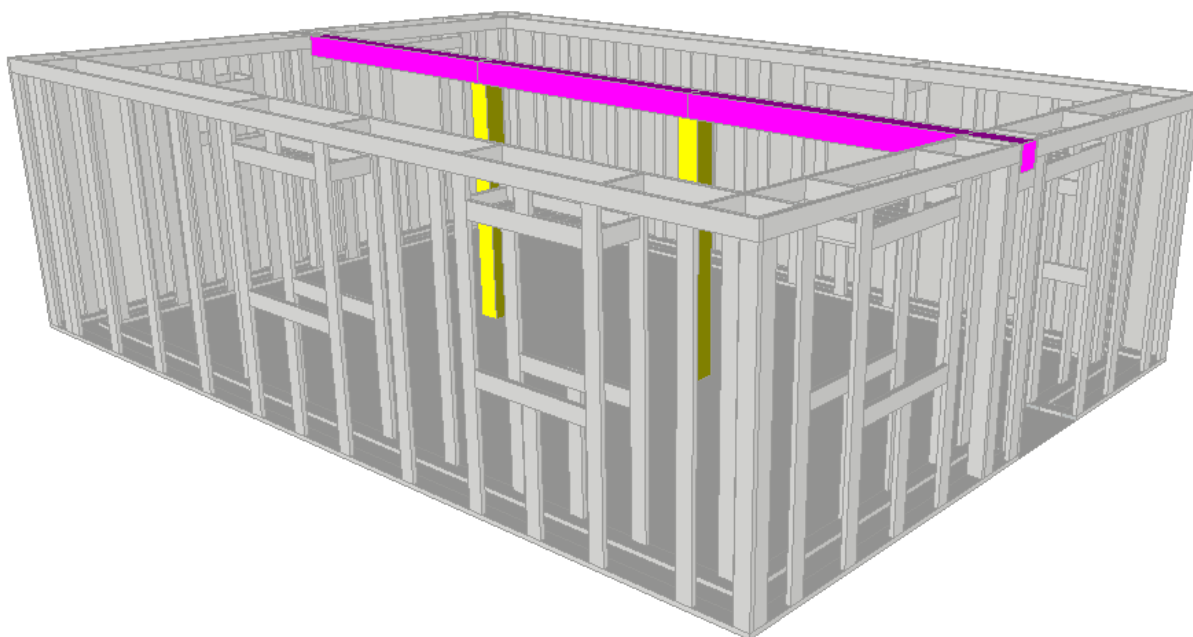


Fig. 2. Poteaux de soutènement (en jaune) et fermes (en mauve).

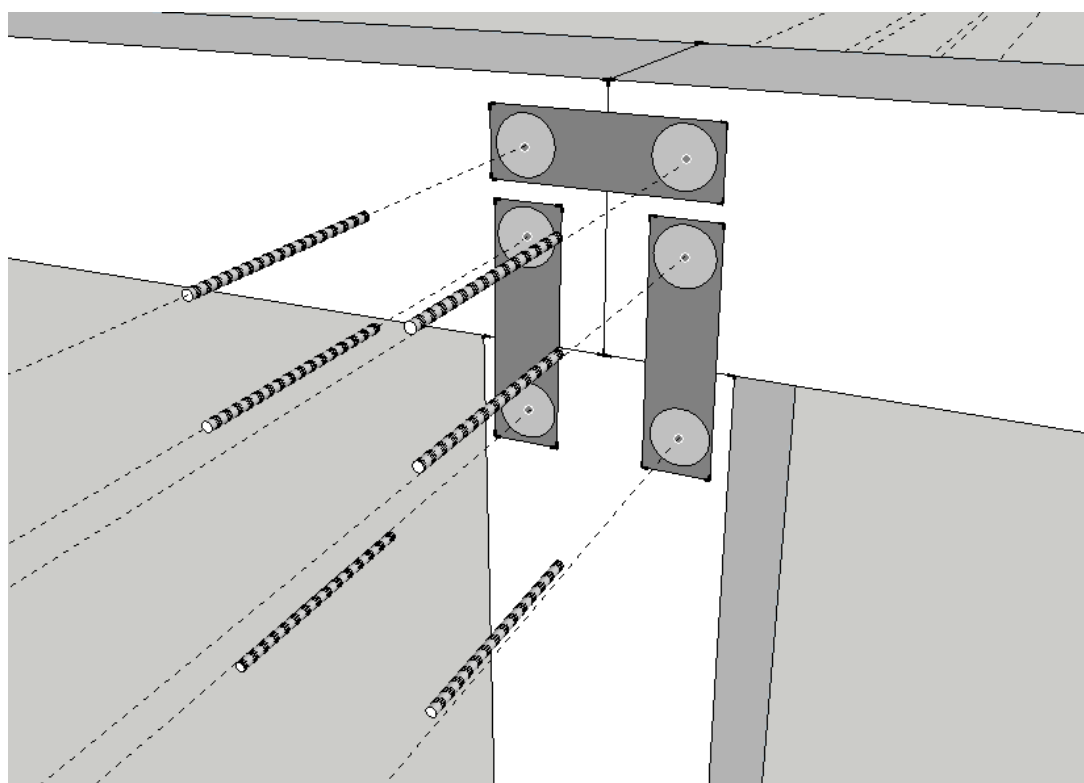


Fig. 3. Fixation des fermes aux poteaux de soutènement intérieurs.

3ème étape : Solives

Il s'agit de poutres qui viennent se poser perpendiculairement aux fermes, en s'appuyant sur ces dernières et sur les murs parallèles à celles-ci.

Nous avons besoin de 34 solives de section de 7,5 cm X 15 cm X 3 m, disposées sur la tranche de 7,5 cm, que nous vissons tous les 38,6 cm en partant de la façade intérieure des murs.

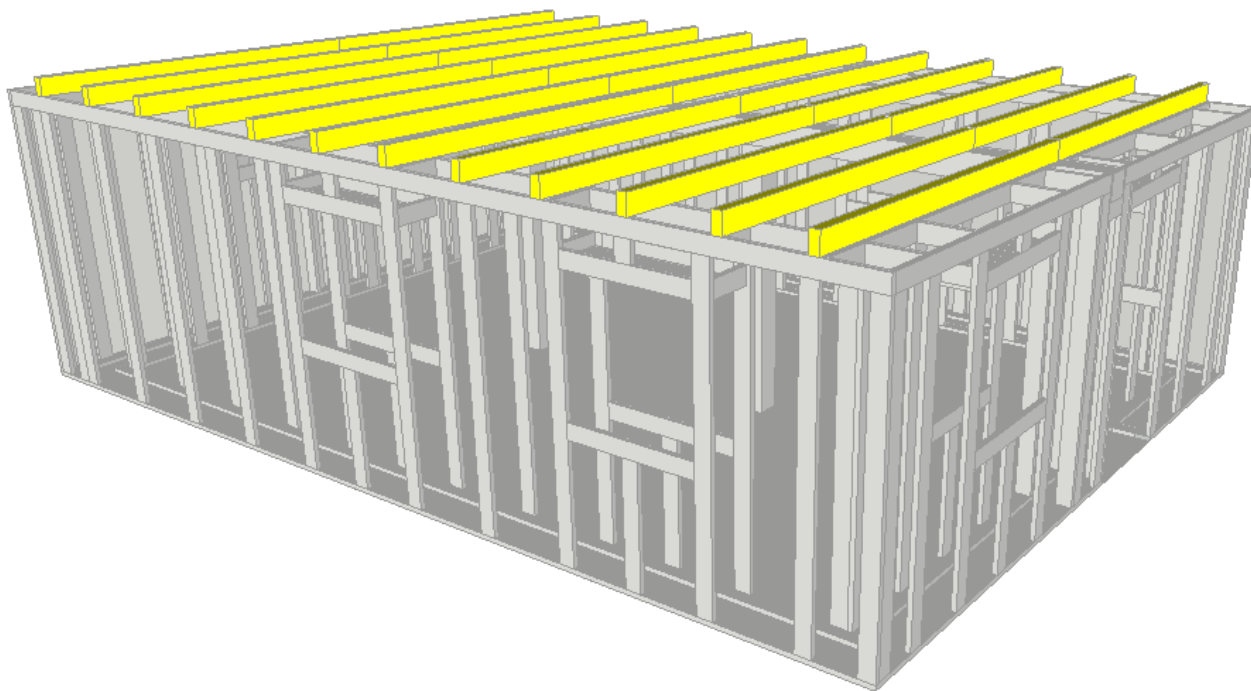


Fig. 4. Solives (en jaune).

4ème étape : Mise hors d'eau provisoire

A ce stade, il est possible de couvrir le bâtiment de bâches imperméables, permettant de protéger les murs des intempéries pendant la suite de la construction. Dans notre cas, nous prévoyons de réaliser la construction pendant l'été, dans une région où les pluies sont exceptionnelles à cette saison, et ne mettrons des bâches qu'en cas de besoin.

5ème étape : Planches sur les solives

Au-dessus des solives, afin de combler les vides entre elles et d'accueillir la couche d'isolation thermique, des planches sont vissées sur toute la surface intérieure du toit (c'est-à-dire 38,16 m²). Ces planches de 2 cm d'épaisseur constituent le plafond du rez-de-chaussée et le « plancher » de la toiture.

Alternative : utilisation de cannes de Provence, que l'on peut éventuellement recouvrir d'un enduit si l'on souhaite un plafond lisse.

6ème étape : Fixation des gaines électriques

Les gaines doivent être disposées et fixées conformément au plan électrique pour permettre les raccords finaux lors de la phase de finition. A cet effet, des trous doivent être réalisés dans le plancher, aux emplacements d'attente des raccords, conformément aux schémas des circuits repris dans le dossier 2 (concernant les murs).

Durée estimée pour le chapitre III.1. Charpente (2 personnes - maison de 50 m²)

48 heures (8 jours de 6 heures)

III.2. Murs de la toiture - technique GREB

Principes de base

- Après avoir monté la charpente, nous surélevons les murs de la maison sur une hauteur de 60 cm, cette partie correspondant au pourtour de la toiture venant supporter la couverture. C'est pour cette raison que nous parlons de « **murs de la toiture** ».
- La technique de construction des ces derniers est semblable à celle que nous avons utilisée pour les murs, un peu comme si nous réalisions un second étage d'une hauteur de 60 cm. Cette technique, développée par le groupe GREB, est expliquée en détail dans notre dossier 2 concernant les murs. Dans ce chapitre, nous reprenons simplement les étapes principales, en indiquant essentiellement les dimensions et quantités nécessaires pour les murs de notre toiture.
- La hauteur des murs de la toiture est de 60 cm, ce qui correspond à la somme de :
 - o 15 cm : solives
 - o 2 cm : plancher
 - o 0,1 cm : pare-vapeur (épaisseur minimum : 0,4mm)
 - o 4 cm : mortier
 - o 35 cm : ballot de paille (isolant thermique)
 - o 4 cm : mortier
- L'espace intérieur (sur le plancher) est en effet rempli d'un pare-vapeur et d'un isolant, l'ensemble étant enfin recouvert d'une couche d'étanchéité.

Outillage

- Scie égoïne
- Scie circulaire
- Perceuse-visseuse
- Fil à plomb
- Niveau d'eau
- « **outillage pour mortier** »
 - o bétonneuse
 - o verseuse à béton (caisse inclinée en pointe pour verser le mortier dans les seaux)
 - o 4 seaux
 - o pelle
 - o bâton de vibration (ou aiguille vibrante)
 - o règle de maçon de 70 cm
- une barre à mine pour l'aiguille à paille
- corde pour redimensionner les ballots de paille
- machette

Matériaux

- planches de bois pour le plancher de 38 m² (5,12 x 7,45 m) de 2 cm de haut
- planches de bois de sapin de 12,5 X 3,8 cm : nous prendrons le reste des planches utilisées pour l'ossature des murs (montants verticaux et contreventements temporaires).
- vis de 5 X 80 mm en biais
- 38 ballots de paille 105 X 50 X 35 cm
- clous galvanisés 3 X 60
- 13 m² de trame de verre 10 X 10 mm
- Ciment CEM-II : 524 kg

- Sable 0/5 : 838 kg
- Sciure 3 mm : 349 kg
- Chaux NHL : 110 kg

Tâches

1ère étape : Ossature en bois

Ossature en bois composée de planches de section 12,5 X 3,8 cm :

- Montants verticaux des piliers d'angle de 60 cm de hauteur;
- Lisses hautes : 54 m de planches (12,5 X 3,8 cm) ;
- Montants verticaux de 60 cm de hauteur.

Pour cette ossature des murs de la toiture, nous utilisons les chutes des planches utilisées pour les murs du rez-de-chaussée et pour les contreventements temporaires.

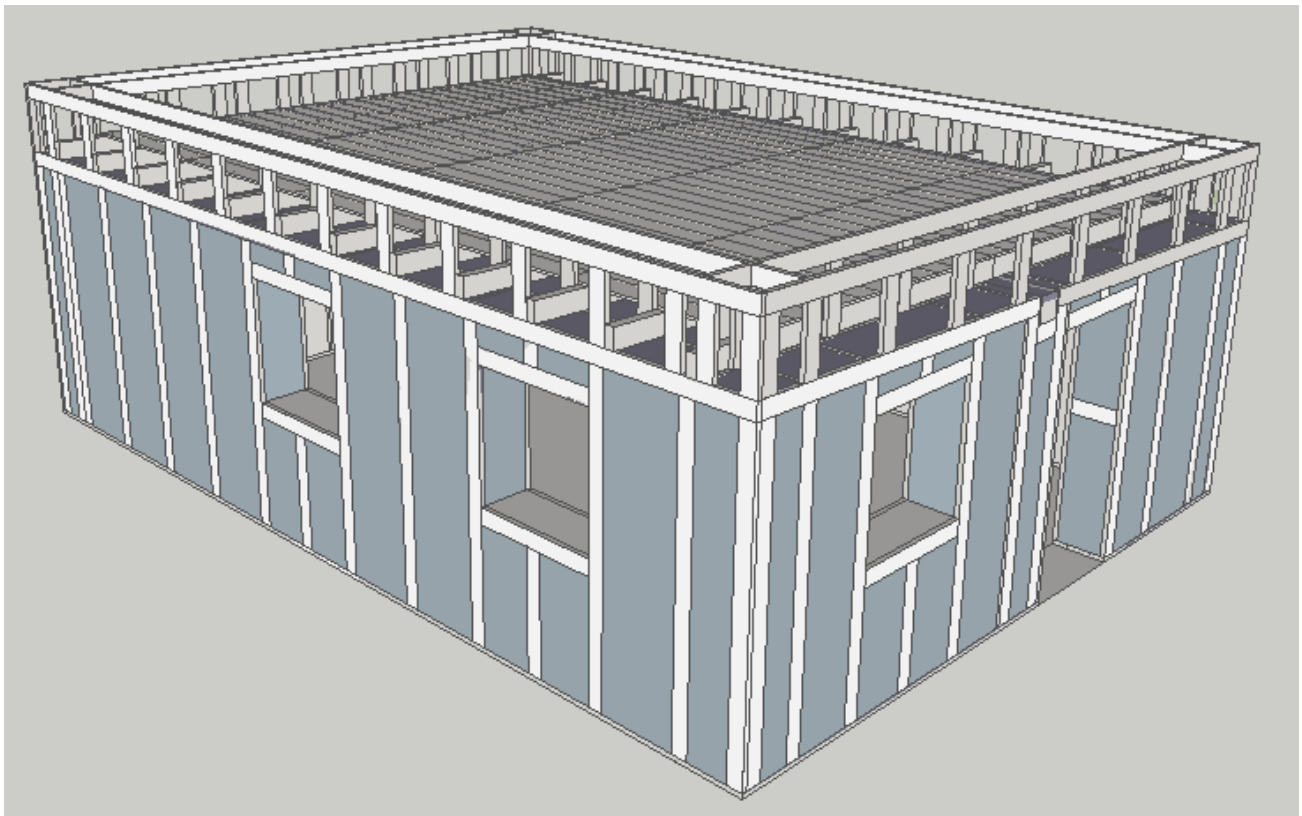


Fig. 5. Ossature en bois des murs de la toiture et plancher reposant sur les solives.

2ème étape : Remplissage des murs : ballots de paille et mortier

- 38 ballots de paille 105 X50 X35 cm
- Feuillards métalliques, vissés entre les montants dans le sens de l'épaisseur de l'ossature.
- Clous galvanisés, plantés sur la tranche des montants de bois.
- Trame de verre 10 X 10 mm
- Coffrage vissés sur l'ossature bois afin de couler le mortier

- Mortier léger pour **1,48 m³** :

en litres

Type de béton	Ciment	Sable 0/5	Sciure 3 mm	Chaux NHL	Eau
GREB	174,64	523,92	698,56	174,64	436,6

en kilogrammes

Ciment	Sable 0/5	Sciure 3 mm	Chaux NHL	Eau	Masse volumique
524	838	349	110,02	437	1231

en parts

Ciment	Sable 0/5	Sciure 3 mm	Chaux NHL	Eau
1,0	3,0	4,0	1,0	2,5

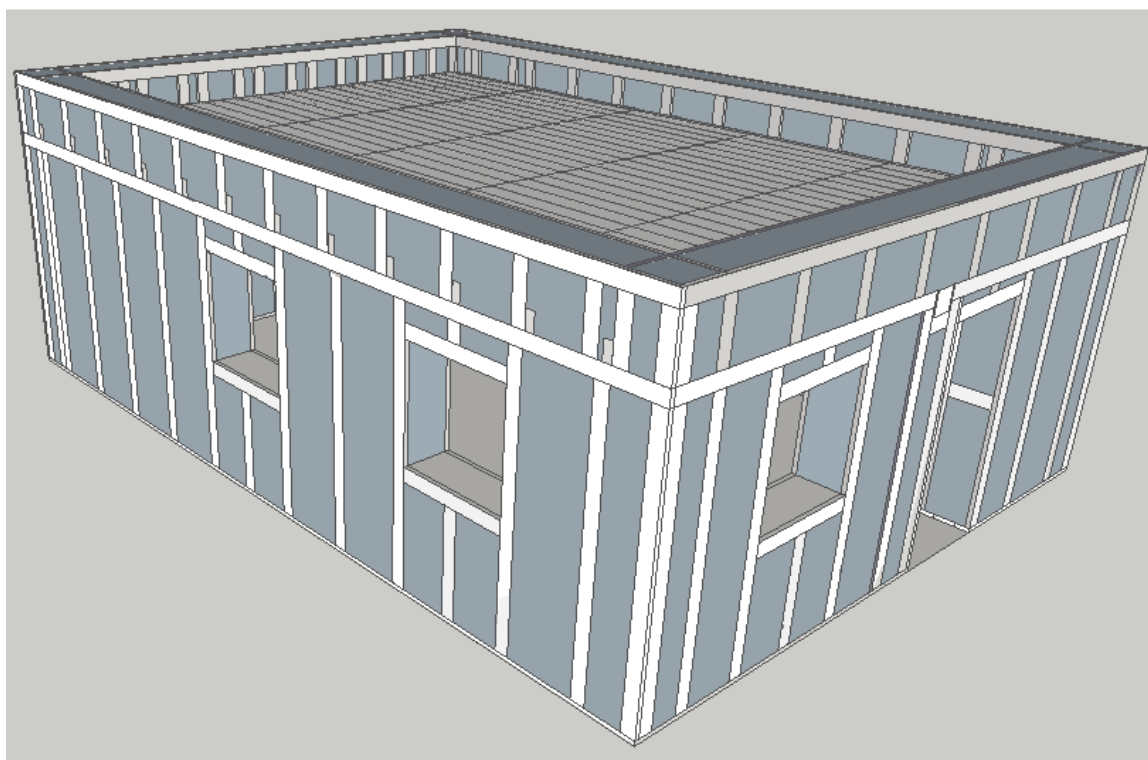


Fig. 6. Murs de la toiture remplis.

Durée estimée pour le chapitre III.2. Murs de la toiture - technique GREB (2 personnes - maison de 50 m²)
30 heures

III.3. Remplissage de la toiture

Principes de base

- Sur le plancher (planches vissées sur les solives) est posé un pare-vapeur ainsi qu'un isolant thermique (ballots de paille enveloppés dans du mortier).

Outillage (à compléter ?)

- « outillage pour mortier »
 - o bétonneuse
 - o verseuse à béton (caisse inclinée en pointe pour verser le mortier dans les seaux)
 - o 4 seaux
 - o pelle
 - o bâton de vibration (ou aiguille vibrante)
 - o règle de maçon de 70 cm

Matériaux

- Film de polyéthylène freine-vapeur (5,42 X 7,75 m)
- Colle
- Power tape
- 73 ballots de paille 105 X50 X35 cm
- Ciment : 900 kg
- Sable 0/5 : 5376 kg

Tâches

1ère étape : Membrane de diffusion, freine-vapeur ou pare-vapeur

Afin d'empêcher que l'humidité de l'intérieur de la maison ne remonte à travers les différentes couches, et ne condense avec le risque à terme de faire pourrir l'isolation, nous mettons une couche étanche à l'air, appelée « membrane de diffusion », « freine-vapeur » ou « pare-vapeur ».

Nous avons opté pour un film de polyéthylène, qui se pose au-dessus de la charpente et en dessous de l'isolant thermique, de manière étanche à l'air. Pour cela, nous faisons remonter le pare-vapeur de 15 cm de chaque côté (dimensions du pare-vapeur : 5,42 X 7,75 m) et nous veillons à bien refermer les joints avec :

- de la colle entre les bandes de polyéthylène ;
- de la bande adhésive (power tape) sur les rebords, temporaire, en attendant la mise en place de la couche d'isolation thermique qui viendra figer le pare-vapeur.

Autre pare-vapeur possible:

- Freine-vapeur variable à base de papier (non disponible dans notre région)

2ème étape : Isolation thermique avec ballots de paille enveloppés entre deux couches de mortier

Une isolation efficace est favorable à l'environnement, améliore le confort intérieur et permet de réduire les déperditions de chaleurs et, par conséquent, la dépense en énergie.¹ Comme pour les murs, nous avons choisi de mettre des ballots de paille pour isoler la toiture. En effet, la paille est un matériau économe, écologique, et connu pour ses propriétés d'isolant thermique. Par ailleurs, les ballots résistent bien à la compression, permettant que le toit soit accessible pour l'entretien.

Technique :

- Première couche de 4 cm de mortier (à mettre en deux temps : une fine couche pour figer le pare-vapeur, puis une couche pour mettre les ballots de paille);
- 73 ballots de paille couchés dans la première couche de mortier frais ;
- Seconde couche de 4 cm de mortier au-dessus des ballots de paille et des murs de la toiture.

3 m³ mortier pour les deux couches :

en litres

Type de béton	Ciment	Sable 0/5	Eau
Maçonnerie	300	3360	450

en kilogrammes

Ciment	Sable 0/5	Eau	Masse volumique
900	5376	450	2092

en parts

Ciment	Sable 0/5	Eau
1,0	11,2	1,5

Pour la deuxième couche de mortier, nous avons finalement fait le mélange suivant : 1 part de ciment ; 1 part de gravier ; 3 parts de sable.

Alternatives :

- panneaux de liège expansé, de 13 à 17 cm d'épaisseur (prix élevé)
- panneaux de fibres de bois rigides avec finition au latex (également adaptés à l'isolation des toits plats).

¹ Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, *Toits plats : choisir une solution écologique et économe en énergie* (info fiches-éco-construction, MAT10), Bruxelles, 2009, p. 3.

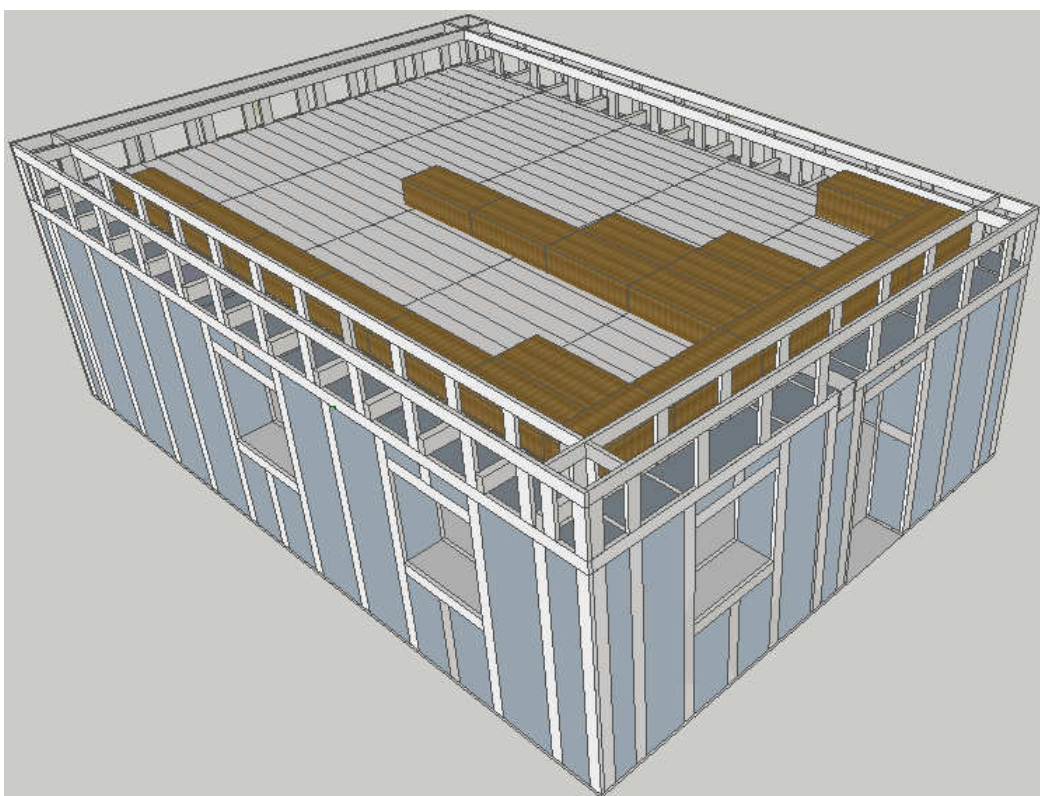


Fig. 7. Couche isolante de ballots de paille (en marron).

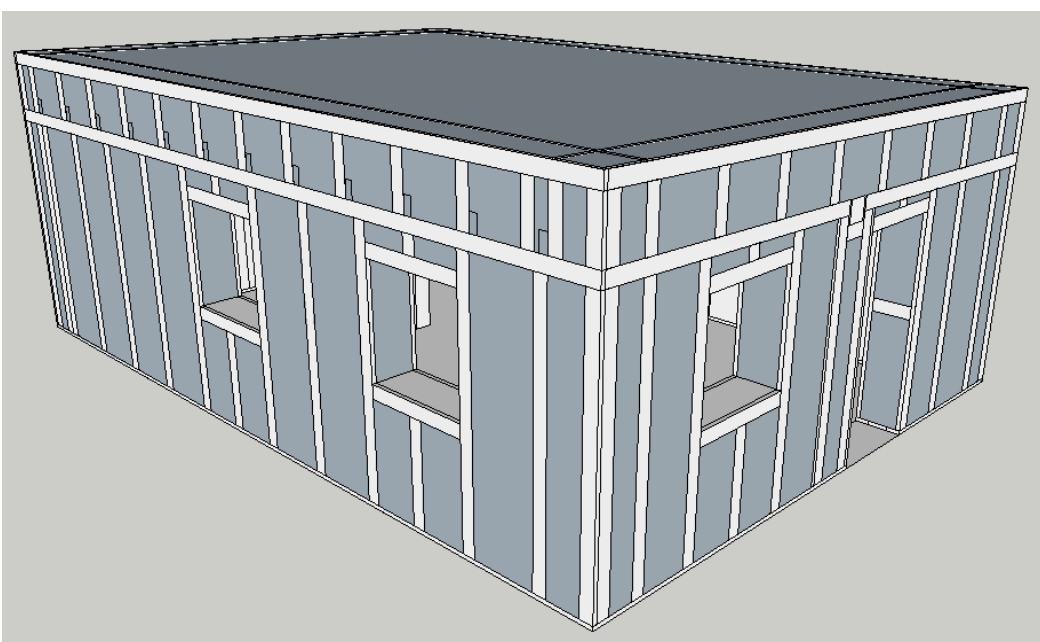


Fig. 8. Couche isolante recouverte de mortier.

Durée estimée pour le chapitre III.3. Remplissage de la toiture (2 personnes - maison de 50 m²)
30 heures

III.4. Couverture

Principes de base

- Le bâtiment est étanchéifié afin qu'il soit protégé des intempéries (pluie, neige, vent).

Outillage

- Scie à disque pour découper les ardoises
- « **outillage pour mortier** »
 - o bétonneuse
 - o verseuse à béton (caisse inclinée en pointe pour verser le mortier dans les seaux)
 - o 4 seaux
 - o pelle
 - o bâton de vibration (ou aiguille vibrante)
 - o règle de maçon de 70 cm

Matériaux

- Géotextile
- Membrane d'étanchéité EPDM : **6,1 X 8,73 m**
- 2 bandes EPDM : **6,1 X 0,2 m**
- 1 bande adhésive pour EPDM : **8,33m X 0,2 m**
- 2 types de colle pour EPDM : EPDM-bande adhésive et EPDM-EPDM (**préciser les quantités**)
- 65 Ardoises naturelles
- Grosses pierres posées sur les ardoises (en provenance du terrain)
- Mortier (**préciser les quantités**)
- Gravier roulés : 2,5 tonnes

Tâches

1ème étape : Protection

Afin d'éviter un contact direct entre la membrane d'étanchéité et le béton et de pouvoir appliquer de la colle pour EPDM, une couche de géotextile est appliquée au-dessus du mortier du toit et sur le haut des murs (sur une hauteur de 20cm).

Alternative : peinture primaire étanche

2ème étape : Membrane d'étanchéité EPDM

Sur le géotextile est posée une membrane imperméable synthétique contenant une couche d'élastomère EPDM (Éthylène Propylène Diène Monomère).

Alternatives :

- membrane bitumeuse, plus sujette à la dilatation et au retrait sous l'effet du soleil ;
- membrane PDC / PE / PVC (certaines solutions sont dites écologiques car « recyclables à 100% ») ;
- « plastique écologique » (revêtement Derbipure distribué par la société Derbigum)¹ ;
- membrane en caoutchouc naturel (nous n'avons trouvé aucun fabricant).

¹ www.derbigum.com, prix indicatif du Derbipure (2010) : 13,5 €/m² (hors pose)

Il semble qu'il n'existe à ce jour pas de matériau totalement écologique pour rendre un toit plat étanche. Cependant, les membranes EPDM ont, par rapport aux autres solutions, un impact plus limité sur l'environnement et sont, grâce à leurs propriétés d'élasticité et de flexibilité, moins sujettes aux dilatations et rétractions thermiques qui compromettent la bonne étanchéité des toits et leur longévité (durée de vie EPDM : de 25 à 50 ans avec un entretien tous les 10 ans).

Recommandations relatives à la pose d'EPDM :

- Le stockage des rouleaux d'EPDM doit idéalement se faire à une température comprise entre 5 et 20 degrés Celsius, et doit être limité à une durée maximum de 6 mois.
- Pour une bonne adhérence, la pose doit se faire sur un support sec, propre, et exempt d'aspérités. Il ne doit pas y avoir de contact entre l'EPDM et du béton, de l'asphalte ou des produits gras.
- Si plusieurs bandes de membrane EPDM sont nécessaires pour recouvrir la surface du toit, commencer par le bas de la pente de la toiture et les poser dans le sens de la longueur du toit, avec une bande adhésive offrant un recouvrement minimum de 15 cm entre deux membranes.
- Les joints longitudinaux et transversaux, s'ils sont autoadhésifs, sont étanchés par pression avec un rouleau. Il faut dans tous les cas s'assurer de la **qualité des points de jonction et des raccords** entre la membrane et la périphérie de la toiture.¹

L'EPDM que nous pouvons nous procurer est vendu au mètre, pour une largeur de 6,1m (et une longueur max. de 30m).

La partie supérieure du bâtiment sera donc « emballée » en faisant déborder la membrane de **10 cm sur le côté Nord** et de **20cm sur les côtés Est et Ouest** (dimensions membrane : **6,1 X 8,73 m**), et en fixant les bords sur le haut des murs latéraux avec de la colle pour EPDM. Pour le côté Sud, une bande d'EPDM de 20cm sera collée sur le haut du mur puis une bande adhésive de 8,33m de long et 20cm de large sera utilisée pour faire la jonction entre la membrane du toit et la bande latérale.

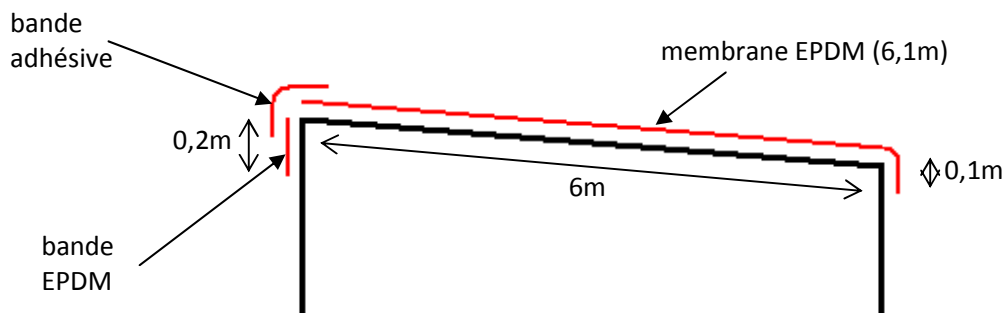


Fig. 9. Pose de la membrane d'EPDM.

Afin de le protéger, recouvrir l'EPDM d'une nouvelle couche de géotextile.

¹ Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, *Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments* (info fiches-éco-construction. Choisir un matériau de toiture en tenant compte de son écobilan, MAT03), Bruxelles, 2007, p. 10.

3ème étape : Débordement de toit en ardoises

Afin de protéger les murs des écoulements d'eau de pluie, un débordement est réalisé au niveau du toit.

Nous avons adapté une technique traditionnelle de la région :

- 58 ardoises naturelles (« Pizarras » : produit local) de 50 X 60 cm cimentées, inclinées (pour permettre l'écoulement des eaux), sur le pourtour extérieur du toit (30 cm sur le toit et 30 cm en porte-à-faux) ;
- 8 ardoises sont découpées en lamelles de 10 x 40 cm :
 - o Côtés Sud, Est et Ouest, chaque lamelle vient couvrir deux ardoises du premier rang ;
 - o Côté Nord (côté bas de la pente du toit), les ardoises entières sont espacées de 6cm et des lamelles d'ardoise sont cimentées par-dessous pour faire office de gouttières ;
- Pour faire contrepoids, des grosses pierres sont cimentées sur l'extrémité intérieure des ardoises (du côté du toit). Une part de ciment pour 7 parts de sable ;
- Les ardoises sont légèrement inclinées (3%) pour éviter que les gouttes ne coulent les long de celles-ci et n'endommagent les murs.

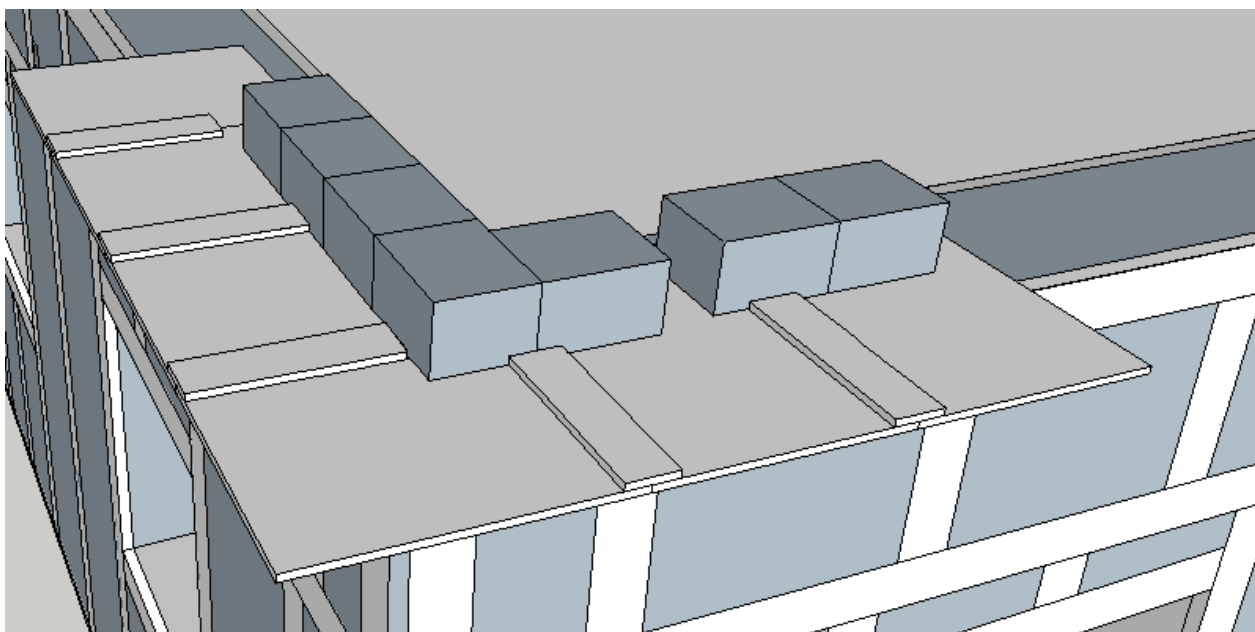


Fig. 10. Vue des ardoises et des pierres faisant contrepoids sur le pourtour extérieur du toit.

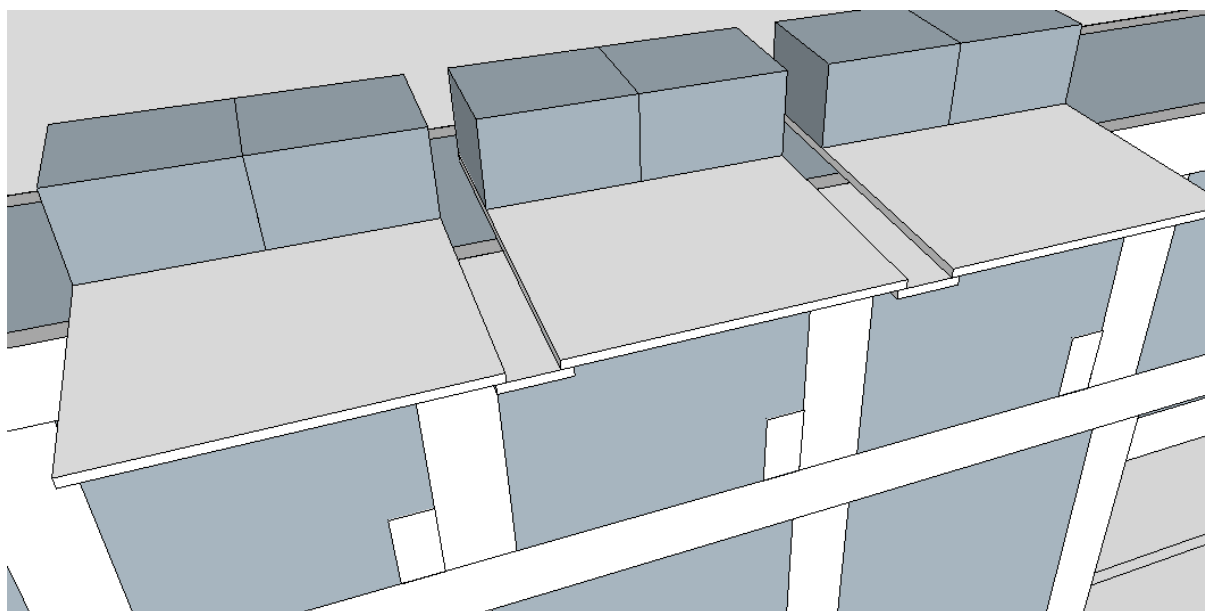


Fig. 11. Sur le côté le plus bas, des lamelles d'ardoise placées par-dessous faisant office de gouttières.

4ème étape : Lestage de la couche d'étanchéité

Suivant le type de toiture, la couche d'étanchéité peut être fixée mécaniquement, par soudage, par encollage ou par lestage. Dans le cas d'un toit plat avec une membrane EPDM, un ballast est nécessaire pour lester la couverture de toiture et pour allonger la durée de vie de la membrane d'étanchéité, en la protégeant notamment contre les rayons UV, le vent, et les variations de température. Nous optons pour un **empierrement**, c'est-à-dire, un ballast de graviers. Les graviers doivent être « roulés » (et pas seulement concassés) pour ne pas présenter d'angles saillants, qui risqueraient d'endommager la couche d'EPDM par poinçonnement et donc de compromettre son étanchéité. Alternative : disposer une protection intermédiaire de type « matelas de feutre ».

Prévoir un lestage de 4 cm de graviers (16mm de diamètre minimum) sur toute la surface de la toiture. Pour notre maison, nous prévoyons 2,5 tonnes de graviers roulés (environ 60 kg/m²).

Alternatives :

- argile de magnésie, appelée « launa » en Espagnol
- pose d'une toiture verte (plus coûteuse et nécessitant plus d'entretien, mais plus écologique)

Durée estimée pour le chapitre III.4. Couverture (2 personnes - maison de 50 m²)

40 heures

III.5. Calculs de résistance

Poids de la toiture

	description	masse volumique	Volume	masse	
	mur du toit – paille	39 ballots	110	7,16625	788,29 kg
	mur du toit – mortier		1231	1,48	1821,88 kg
	Ardoises	65 ardoises	2000	0,39	780 kg
	ballots de paille	73 ballots	110	13,41375	1475,51 kg
	Mortier		2092	3,05	6380,6 kg
	Plancher	planches 2cm	500	0,7632	381,6 Kg
	membrane d'étanchéité				
	Ballast				2500,00 kg
	Solives	15x7,5x300x36	500	1,215	607,5 kg
	Fermes	20x24x240x3	500	0,3456	172,8 kg
	<u>poids total de la toiture</u>				14908,18 kg
	<u>poids supporté par les solives</u>				10737,71 kg
					282,57 kg/m²
	<u>poids supporté par les fermes</u>				11345,21 Kg
					298,56 kg/m²
	<u>poids supporté par les colonnes</u>				11518,01 Kg
	<u>poids supporté par chaque colonne</u>				5759,01 Kg

Les vérifications de résistance (déformation en flexion et cisaillement) ont été réalisées avec les outils *pcs_pieces_002.xls* et *pcs_solive_004.xls* proposés par l'association amibois.org (l'Amicale française des Professeurs de l'Enseignement Technique des métiers du Bois).¹

L'hypothèse de calcul est que la charpente et les piliers portent seuls la charge centrale du toit (cas le plus défavorable puisqu'en réalité la structure GREB y contribue également). En outre, les calculs tiennent compte d'une charge additionnelle minimale de 350 kg/m² (pour les visites sur le toit et en cas de neige, de pluies ou de vents intenses) ainsi que d'une sécurité supplémentaire de 100 kg à mi-portée.

Les tests sont relatifs à la limite d'élasticité des matériaux choisis (type de bois) et sont effectués pour : les charges à mi-portée ; les charges aux appuis et surfaces d'appui (les appuis sont tous supérieurs à 5 cm) ; et les déformations à mi-portée (flèche admissible de 1/300^e).

¹ http://syl20.h.free.fr/BD_gene/fic/pcs_solive_004.zip
http://syl20.h.free.fr/BD_gene/fic/CB71/TOOLS/pcs_pieces_002.zip

Résistance des solives

La portée est de 2,46 m (3m - 0,1m - 0,44m) et, selon l'hypothèse, la charge permanente serait de 283 kg/m².

Parmi les solutions possibles, nous retenons la configuration suivante :
Solives en **lamellé-collé** non-certifié (GL24h nc) de **section 7,5 cm x 15 cm**.
Avec un **écart** entre les solives de **38,6 cm** (soit un total de **34 solives**).
Charges à mi-portée : 78,1%.
Déformation à mi-portée : 92%.

Alternative 1 :
Solives en **résineux de négoce** non-certifié (C18 nc) de **section 10 cm x 15 cm**.
Avec un **écart** entre les solives de **39 cm** (soit un total de **32 solives**).
Charges à mi-portée : 80,5%.
Déformation à mi-portée : 99,6%.

Alternative 2 :
Solives en **résineux de négoce** non-certifié (C18 nc) de **section 15 cm x 15 cm**.
Avec un **écart** entre les solives de **58 cm** (soit un total de **22 solives**).
Charges à mi-portée : 79%.
Déformation à mi-portée : 96,8%.

Alternative 3:
Solives en **résineux de négoce** non-certifié (C18 nc) de **section 7,5 cm x 15 cm**.
Avec un **écart** entre les solives de **29 cm** (soit un total de **42 solives**).
Charges à mi-portée : 80,7%.
Déformation à mi-portée : 99,9%.

Alternative 4 (165kg/m²):
Solives en **résineux de négoce** non-certifié (C18 nc) de **section 7 cm x 14,5 cm**.
Avec un **écart** entre les solives de **46 cm** (soit un total de **30 solives**).
Charges à mi-portée : 76,7%.
Déformation à mi-portée : 101%.

Résistance des fermes

La portée maximale est de 2,38 m et, selon l'hypothèse, la charge permanente est de 299 kg/m².

Parmi les solutions possibles, nous retenons la configuration suivante :
Solives en **lamellé-collé** non-certifié (GL24h nc) de **section 20 cm x 24 cm**.
Charges à mi-portée : 67,1%.
Déformation à mi-portée : 44,77%.

Résistance des piliers

La hauteur des piliers est de 2,158 m et, selon l'hypothèse, la charge permanente s'exerçant sur chaque pilier serait de 5800 kg. Les piliers sont en configuration « Encastré-Libre ».

Parmi les solutions possibles, nous retenons la configuration suivante :

Madriers de type **résineux de scierie** (C18 nc) de **section 20 cm x 20 cm**.

Contrainte en compression de 2,88 MPa par pilier (sur une limite d'élasticité de 8,5 MPa, soit 33,9%).

Résistance des murs

Des expérimentations en laboratoire ont montré qu'une structure GREB de 1,6m de hauteur résiste à un chargement en compression de 32 kN/m² (3.200 kg par mètre carré).¹

Comme la charge critique se calcule avec la formule d'Euler, qui établit une relation de proportionnalité inverse entre la résistance à la compression (ou au « flambement ») et le carré de la longueur de la pièce comprimée, on peut faire une approximation de la résistance d'un mur de 2,5m de haut : $32 * (1,6)^2 / (2,5)^2 = 13,11 \text{ kN/m}^2$. Ce qui correspond à peu près à 577 kg par mètre linéaire de mur (1 x 0,44 x 1311).

La longueur de mur de notre construction étant d'environ 27 mètres (2 x (6+8,33-0,88)), la structure GREB du rez-de-chaussée présente une résistance en compression avoisinant 15.600 kg (156 kN).

Étant donné que le poids total de la toiture (environ 15 tonnes) est réparti à la fois sur les murs et sur les deux piliers centraux, la résistance en compression des murs est largement suffisante.

Durée totale pour la toiture: 148 heures (25 jours de 6 heures de travail).

¹ LA ROSA (C.), *Contribution aux mesures mécaniques sur la construction paille selon la technique du G.R.E.B*, Travail de fin d'étude ENTPE, Vaulx-en-Velin, 2008, 140 p.