



# LA CONSTRUCTION DE L'ÉCOCENTRE PIERRE ET TERRE

Choix, conception, techniques, matériaux, équipements, prix...





# LA CONSTRUCTION DE L'ÉCOCENTRE PIERRE ET TERRE



## INTRODUCTION

L'origine du projet.....	3
--------------------------	---

## UN BÂTIMENT PILOTE INNOVANT

L'écocentre, un bâtiment... exemplaire, démonstratif et performant.....	6
L'étude thermique du bâtiment.....	8
Les coûts par m <sup>2</sup> et par corps d'état.....	11

## LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE

Définition/généralités.....	13
Application/écocentre.....	14
Quelques indicateurs pour votre projet.....	15
Calculs sur le bâtiment.....	16

## PARTIE 1 / GROS OEUVRE

Fondations/soubassement.....	19
Mur en terre crue : pisé.....	21
Murs en bottes de paille porteuses.....	23
Structure et charpente bois.....	25
Sol isolant en chaux-chanvre sur hérisson ou terre-plein.....	27
Revêtement en carreaux de terre cuite sur mortier de chaux maigre.....	29
Dalle extérieure en chaux.....	31
Toiture terrasse végétalisée.....	33
+ Calcul de l'inertie dans le bâtiment et test déphasage du mur en pisé.....	35

## PARTIE 2 / SECOND OEUVRE

Vitrage de différents types.....	39
Volets en liège ou en bois.....	41
Isolation des combles : en ouate de cellulose et laine de mouton.....	43
Enduits terre : les trois couches.....	45
Isolation phonique du plancher : avec du sable et un parquet flottant.....	47
Cloisons en terre crue : murs courbes en adobes.....	48
Cloisons intérieures sèches : en ouate de cellulose et fermacell sur ossature bois.....	49
Revêtements intérieurs : peinture à la caséine et tadelakt.....	51

## PARTIE 3 / ÉQUIPEMENTS

Mini éolienne : production d'électricité.....	55
Panneaux photovoltaïques : production d'électricité.....	57
Solaire thermique et poêle à granulés : production de chauffage.....	59
Ventilation mécanique contrôlée : ventilation double flux.....	61
Épuration des eaux usées par filtres plantés.....	63
Récupérateur d'eau de pluie pour un usage domestique.....	65
Toilettes sèches à compost pour un système d'assainissement écologique.....	67



### *Site de l'écocentre Pierre et Terre*

Ce livret présente le bâtiment de l'écocentre Pierre et Terre construit en 2010-2011. Il rassemble plusieurs fiches techniques sur le choix des matériaux, les techniques et les équipements mis en place dans ce projet. Ce manuel s'adresse aux particuliers, aux professionnels ou aux élus désireux de comprendre les enjeux de l'écoconstruction ou d'obtenir des informations concrètes pour réaliser des travaux.

## **L'origine du projet**

Créée en 1997, l'association Pierre et Terre a pour but de promouvoir le développement d'alternatives en matière de pratiques éco-citoyennes auprès des particuliers, des collectivités et des artisans. Forte de son expérience, l'association maîtrise de nombreux savoir-faire - autour des thèmes de l'habitat et du jardin, de l'eau et de la nature et de la consommation - qu'elle met au service des porteurs de projets. Ceux-ci peuvent s'informer en consultant nos ouvrages spécialisés, notre site web et l'éco boutique ; acquérir des compétences par nos formations et nos animations ou bénéficier d'un accompagnement individualisé sur des créations et restaurations de maisons, des installations d'assainissement par filtres plantés et/ou de toilettes sèches, des piscines écologiques, etc...

L'enjeu du projet, conçu en partenariat avec l'architecte Jean-Marc Jourdain, était de construire un bâtiment écologique et économique, aux références vernaculaires mais à l'architecture contemporaine, qui pourrait servir de modèle pour construire une maison éco-responsable et qui serait le support « grandeur nature » des valeurs que nous partageons. Aujourd'hui, ce nouvel écocentre Pierre et Terre permet l'accueil d'une partie des 5000 personnes auprès de qui nous intervenons chaque année. C'est un lieu à vocation pédagogique qui concrétise les réflexions menées par l'association Pierre et Terre et qui, par ces qualités, participe au rayonnement du territoire.



# UN BÂTIMENT PILOTE INNOVANT

---

Un projet c'est d'abord des personnes réunies autour d'une même motivation. Par la construction de l'écocentre, classé Centre de Ressources et site de référence du Pays du Val d'Adour, les membres de l'association Pierre et Terre ont deux objectifs :

- être vitrine des techniques en écoconstruction
- présenter un bâtiment exemplaire, démonstratif et performant à l'échelle d'une maison d'habitation

L'écocentre, un bâtiment... exemplaire, démonstratif et performant	6
L'étude thermique du bâtiment	8
Les coûts par m <sup>2</sup> et par corps d'état	11

Sur le site de l'ancien lycée viticole de Riscle, l'écocentre s'inscrit dans une cohérence globale : le respect de l'environnement, la biodiversité, une faible empreinte écologique ; tout en créant une dynamique locale avec la constitution d'un espace culturel.

C'est en associant ces critères que l'écocentre est aujourd'hui un bâtiment exemplaire, performant et démonstratif.



# UN BÂTIMENT PILOTE INNOVANT

## L'écocentre, un bâtiment...



*Choix des matériaux et des techniques*

### exemplaire

- des matériaux naturels qui sont parfaitement recyclables
- des matériaux issus de filières courtes et locales
- des matériaux sains pour la santé des occupants et des artisans qui les mettent en oeuvre
- un bilan carbone et une énergie grise faible
- des techniques de construction respectueuses d'un savoir-faire local
- des entreprises et artisans locaux

L'exemplarité est visible via les matériaux utilisés et les techniques mises en oeuvre qui sont respectueuses de l'environnement. Les matériaux utilisés sont locaux, naturels et sains. Que ce soit la terre crue employée pour les enduits ou pour les briques constitutives des cloisons, la paille des murs extérieurs faisant office d'isolation, le chanvre utilisé dans la dalle, la laine de mouton isolant le toit ou encore le bois de la structure de la façade sud. Tous ces matériaux (et d'autres encore) ont été choisis parce qu'ils répondaient à notre objectif d'exemplarité.

Certains matériaux ont été sélectionnés parce qu'ils sont fabriqués ou extraits localement. Par exemple, la terre crue provient d'une carrière située à Boulogne-sur-Gesse (à 80 km) et les panneaux solaires sont de fabrication française. D'autres produits sont issus de circuits courts comme la paille que nous avons directement achetée à un agriculteur basé à Marciac (à 30 km). D'autres matériaux sont des co-produits agricoles comme le chanvre. Dans ce cas, cela permet de valoriser et encourager les filières locales et alternatives qui se développent dans le département du Gers. Quand à la laine de mouton, achetée à un berger de la commune voisine, elle est passée d'un statut de déchet à celui d'un produit utile pour nous. Enfin l'ensemble de ces matériaux a un impact sur la qualité de l'air intérieur puisqu'ils n'émettent pas de particule nocive.

Cette initiative permet également de réduire l'énergie grise - avec l'utilisation de bois séché naturellement par exemple - du bâtiment par rapport à une construction conventionnelle car le cycle de vie des matériaux est simple et maîtrisé. Le bilan Carbone du bâtiment est aussi remarquable car un bâtiment conventionnel émet en moyenne 20 tonnes de CO<sup>2</sup>, alors que celui-ci en stocke 20 tonnes.

Parallèlement à ce volet environnemental, nos choix ont toujours été faits en misant sur la création d'emplois locaux plutôt que sur le développement de produits industriels. Par exemple, la construction en terre répond aux enjeux sociaux de l'emploi et de la formation. Contrairement aux matériaux industrialisés qui réduisent la part de la main d'œuvre dans l'économie du bâtiment, la terre redonne toute sa place au métier artisanal et aux savoir-faire. Et il semble urgent de prendre en compte le critère « d'intensité sociale ». Les artisans originaires du Gers détenaient le savoir-faire pour mettre en œuvre ces techniques ou étaient désireux de les acquérir. L'association Pierre et Terre les a accompagnés dans cette démarche. Cette association a été bénéfique à l'ensemble des corps de métiers. Ce bâtiment participe à la revalorisation des métiers du bâtiment qui, dans le contexte actuel, ont un rôle important à jouer.



*Site et bâtiment à vocation pédagogique*

## démonstratif

- un projet pédagogique : démarche d'information et de sensibilisation
- un espace accessible à tout public et des visites guidées
- un bâtiment de 345 m<sup>2</sup> habitable à l'échelle d'une grande habitation où l'on peut facilement se projeter
- une matériauthèque avec différents modules de technique d'écoconstruction
- des modèles de toilettes sèches en exposition
- une librairie contenant plus de 280 titres sur des thématiques comme le jardin et l'habitat, la consommation, l'eau et la biodiversité

La démonstration de ces techniques d'écoconstruction fait l'objet de nombreuses animations, visites, conférences sur le site. Le bâtiment est avant tout un établissement recevant du public et l'équipe a notamment pour mission de sensibiliser les élus, les professionnels comme les particuliers ou les scolaires à une architecture saine et bioclimatique. Un ensemble d'outils (visites guidées, parutions éditoriales, expositions, panneaux de signalétiques, etc...) sont mis à la disposition des visiteurs afin qu'ils comprennent la démarche globale et puissent s'en inspirer pour leurs projets personnels.

La matériauthèque en est un parfait exemple. C'est un espace où l'on retrouve des modules représentant différentes techniques de construction, qui ne sont pas employées dans le bâtiment lui-même. Car bien entendu il existe une multitude de possibilités dans le choix d'une technique de construction, selon la localisation du projet, les savoir-faire des artisans, le budget des clients, la performance à atteindre... Ces modules de sol, de mur ou de toiture permettent aux visiteurs de voir à l'échelle 1/1 la composition de ces éléments afin de les reproduire ou de s'en inspirer en auto-construction par exemple.

Les visites guidées, elles, ont pour but d'expliquer qu'il faut envisager chaque projet au cas par cas et avec une vision globale, du choix du terrain à la récupération des eaux de pluie... Elles permettent également de rendre accessible à tous les principes de l'éco-construction et l'ensemble du site illustrent les préconisations des membres de l'équipe, qu'ils s'agissent des toilettes sèches ou l'utilisation de matériaux respirant en rénovation par exemple.



## performant

- le respect de la RT 2020
- un bâtiment BEPOS c'est-à-dire à énergie positive avec une consommation moyenne estimée à - 24,7 kWep/m<sup>2</sup>/an
- des consommations énergétiques réduites au maximum
- des énergies renouvelables pour la production de chauffage et d'électricité
- une récupération de toutes les énergies comme le soleil
- le recyclage des eaux usées

### *Équipements et énergies renouvelables*

La performance énergétique des bâtiments est aujourd'hui primordiale car le coût des énergies ne cesse d'augmenter. Une bonne isolation et la prise en compte de l'inertie associées à l'emploi des énergies renouvelables, permettent à l'écocentre d'être très performant. Une étude thermique du bâtiment a été réalisée. Il s'agit de mesurer le coût énergétique du bâtiment et de le comparer aux exigences réglementaires puis de voir si ces performances vont au delà (\*voir la synthèse page suivante).

La Réglementation Thermique qui s'applique aux constructions neuves est la RT 2012. Elle a pour objectif de ramener toute construction neuve à un niveau de consommation de 50 kWhep/m<sup>2</sup>/an. Ce qui correspond à une consommation 3 à 4 fois inférieure aux bâtiments construits sous la RT 2005 ou qui consomme 7 fois moins d'énergie par rapport à un bâtiment construit il y a 20 ou 30 ans ! En fait la RT 2012 correspond au label BBC (Bâtiment Basse Consommation).

L'étude thermique qui a été réalisée, a évalué la consommation énergétique du bâtiment à -24 kWhep/m<sup>2</sup>/an, ce qui signifie qu'il produit, sur une année, plus d'énergie qu'il n'en consomme. C'est donc un bâtiment BEPOS (Bâtiment à Énergie POSitive). Pour arriver à une telle performance en premier lieu en construction neuve, le besoin énergétique doit être ramené à un niveau dit passif. Ainsi le BEPOS est avant tout un bâtiment BBC (respectant la RT 2012) qui va encore plus loin dans la performance énergétique en utilisant les énergies gratuites et renouvelables avec des stockages plus importants (l'énergie solaire en est un exemple). Le bâtiment à énergie positive sera rendu obligatoire pour tous les logements neufs avec la future RT 2020. Bien que ces référentiels soient utiles pour pousser à toujours plus de performances énergétiques, ils ne prennent pas en compte la qualité des matériaux et leur impact sur la santé ou l'environnement. Il est donc possible de construire un bâtiment BEPOS avec de la laine de verre, du béton et du bois exotique... ou avec une grosse installation photovoltaïque qui masquerait une consommation énergétique importante. Ici, non seulement l'écocentre est conforme à la RT 2020 en étant un BEPOS, mais en plus il est bâti avec des matériaux sains, renouvelables et peu consommateurs d'énergie.

## L'étude thermique du bâtiment

De ces trois critères - exemplaire, démonstratif et performant - celui de la performance est peut être le plus délicat à faire partager car le plus complexe à calculer. Néanmoins, cette performance énergétique du bâtiment peut être vérifiée et évaluée. Voici la synthèse et les critères pris en compte par cette étude.

## ECOCENTRE ASSOCIATION PIERRE ET TERRE – RISCLE (32400)

\* étude réalisée par la structure Ty-Maya Eco-Solutions, Nolwenn Miegbielle

Le projet comporte un bâtiment de bureaux et de conception bioclimatique et écologique sur deux niveaux, avec au rez-de-chaussée, une salle polyvalente, une cuisine réservée au personnel, un hall d'accueil, une salle de stockage, des sanitaires et une matériauthèque en terrasse couverte sous toiture végétalisée, et à l'étage, des bureaux paysagers, une salle de réunion, un bureau, un local technique et une terrasse.

Surfaces : SHON : 393 m<sup>2</sup> ; Surface Utile : 345 m<sup>2</sup>

### CARACTÉRISTIQUES DU BÂTI

Menuiseries	<p>Menuiseries en bois, fenêtres, portes-fenêtres et portes.</p> <p>En RdC : Double vitrage sécurit 2 faces RdC 44.2/6/44.2 faible émissivité+argon+intercalaire TGI, vitrage sécurit 2 faces <math>U_w = 2,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math>, <math>U_{jn} = 2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math> (avec volets roulants extérieurs)</p> <p>Porte-fenêtre Rdc : <math>U_w = 2,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math>, <math>U_{jn} = 1,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math> (avec volets roulants extérieurs)</p> <p>Fenêtres et porte-fenêtre de l'étage : Double Vitrage sécurit 1 face intérieure 4/12/44.2 faible émissivité + argon+intercalaire TGI, <math>U_w = 1,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math>, <math>U_{jn} = 1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math> (avec volets extérieurs ou intérieurs)</p> <p>Fenêtre Triple vitrage façade nord RdC : <math>U_w = 0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math>.</p> <p>Porte en bois plein local de stockage : <math>U = 2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math>.</p> <p>Fenêtres Nord avec volets intérieurs en liège</p>
Murs de façades et pignons Ouest, Est et Nord	Grosses bottes de paille porteuses sur chant, 70 cm d'épaisseur ( $R_{\text{botte}} = 10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ), enduit terre de 5 cm en moyenne côté intérieur et enduit sable/chaux côté extérieur (sauf façade Est en RdC)
Mur de façade Sud	Ossature poteaux bois 20*30 cm, entraxe de 3 m, remplissage ouate de cellulose entre poteaux de 30 cm + isolation complémentaire intérieure en ouate de cellulose de 10 cm, ( $R_{\text{ouate}} = 9,52 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ), fibralith 25 mm + enduit en contreventement extérieur ou pare-pluie et bardage côté cuisine et local technique, fermacell 13 mm côté intérieur.
Plancher bas sur terre plein /Hérisson	Dalle chaux chanvre de 18 cm sur hérisson ( $R = 1,87 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ), chape de chaux maigre de 5 cm et terre cuite
Plafond sous combles	30 cm de laine de mouton comprise entre deux couches de ouate de cellulose soufflée de 5 cm, sur vide d'air de 3 cm et plancher bois, ( $R_{\text{isolant}} = 8,9 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ )

## ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES

Ventilation	Centrale double flux pour maison individuelle Atlantic, de type Duolix, avec échangeur, sans détection de présence, sans régulation terminale, sans batterie de chauffage. Rendement de 92%, débits hygiéniques, caissons de soufflage et de reprise à 0,40 W/m <sup>3</sup> .h, classe d'étanchéité C avec filtres
Chauffage (ECS négligée) /éléments paramétrés différemment de l'installation existante	Chaudière bois à granulés de 9,5 kW (pour le poêle à bois), avec programmation à heures fixes et contrôle d'ambiance, classe 3 et rendement de 90% Emetteur (mur en pisé) : panneau rayonnant avec régulation terminale CA = 1,8 K. Production solaire associée : 5*2 m <sup>2</sup> de capteurs vitrés, orientation sud sans masque, inclinaison supérieure à 50°, ballon de stockage de 100 L avec constante de refroidissement de 0,21 Wh/L.K, sans appoint.
Eclairage	27 LED de 10 W chacune, soit 270 W au total, arrondi à 1 W/m <sup>2</sup> dans le paramétrage
Production d'énergie Installation Photovoltaïque	Installation pour MI : Puissance crête de 3 kWc, de type 14 modules habitat solaire polycristallins, 0,214 kWc/module, 1,63 m <sup>2</sup> /module, orientation sud, inclinaison à 30°, ventilés ou faiblement ventilés
Production d'énergie Eolienne	Eolienne pour MI, de 3 kW de puissance, Weole Energy, production annuelle estimée à un vent moyen annuel de 5 m/s, 5200 kWh d'énergie finale électrique.

## SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

SHON m <sup>2</sup>	393
Surface Utile m <sup>2</sup>	345
Ubat (W/m <sup>2</sup> .K)	0,288
Ubat réf (W/m <sup>2</sup> .K)	0,459
Gain Ubat %	37,3
Cep (kWh/m <sup>2</sup> .an)	-24,7
Cep réf (kWh/m <sup>2</sup> .an)	78,5
Gain Cep %	131
TiC °C	31,1
TiC réf °C	34
Label BBC Effinergie Neuf Classe énergétique étude (/m <sup>2</sup> de SHON et non Surface utile pour le DPE)	A
<b>BATIMENT A ENERGIE POSITIVE</b>	

## Les coûts par m<sup>2</sup> et par corps d'état

En règle générale, les personnes qui souhaitent devenir propriétaire ou faire construire une maison, pensent que la construction écologique n'est pas accessible à tous, car trop chère par rapport à une construction classique. Avec ce tableau récapitulatif des coûts du bâtiment par corps d'état (chaque lot représentant une partie du bâtiment) on peut avoir un aperçu détaillé et en même temps obtenir un coût global au m<sup>2</sup>.

Lot / Bâtiment	TTC
Paille + Enduits	68 995,93
Charpente / ossature / structure	88 599,86
Terrassement + VRD Fondations + gros-œuvre	25 406,00
Couverture - étanchéité	8 279,62
Menuiserie ext.	59 077,89
Cloisons, plâtrerie Peinture	42 534,41
Sols durs et souples	39 118,45
Plomberie - sanitaires Electricité	21 952,85
Chauffage-VMC	26 074,25
Autres (maitrise d'œuvre)	34 403,94
TOTAL	414 443,20
TTC au m <sup>2</sup> de Surface habitable (345 m <sup>2</sup> )	1 201 €

**Le coût du bâtiment est de 1200€ TTC/m<sup>2</sup>.**

Cela correspond donc au coût de la construction individuelle conventionnelle, qui se situe aux alentours de 1000 à 1500 € TTC/m<sup>2</sup>, même en respectant des normes spécifiques applicables pour les bâtiments ERP (sécurité incendie...). Plusieurs paramètres permettent d'arriver à un tel prix en travaillant avec des artisans. Le concept du bâtiment qui emploie des matériaux pas chers ; la rapidité de la construction et une très bonne coordination de chantier afin que les étapes du chantier et les entreprises s'enchaînent sans causer de retard ou des erreurs pouvant entraîner des surcoûts ; le caractère privé de la construction qui autorise une négociation au niveau des prix (contrairement aux marchés publics). Ce chiffre prouve donc que la construction dite écologique est à la portée du plus grand nombre. Contrairement aux idées reçues, son coût au m<sup>2</sup> reste comparable à celui de la construction conventionnelle...

# LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE

---

La réflexion menée sur la conception du bâtiment se fait en même temps que le choix des matériaux et des techniques. Son implantation et la prise en compte de l'environnement proche sont indispensables à une approche écologique.

L'écocentre est un bâtiment qui a été conçu selon ces critères et voici quelques indices qui permettront de les appliquer dans votre projet personnel.

Définition/généralités	13
Application/écocentre	14
Quelques indicateurs pour votre projet	15
Calculs sur le bâtiment	16

# LA CONCEPTION BIOCLIMATIQUE

## Définition/généralités

La conception bioclimatique est très ancienne. Elle permet d'optimiser la construction (implantation, orientation, agencement des pièces et des ouvertures, etc.) afin de mieux profiter des ressources naturelles (lumière, chaleur solaire,...) et se protéger efficacement des agressions climatiques (vents, canicule estivale...).

L'objectif de la mise en oeuvre de cette conception est l'obtention du confort des occupants, jour et nuit et en toute saison, en limitant au maximum les besoins énergétiques autres que ceux, gratuits, fournis par l'environnement extérieur. Pour cela il faut savoir profiter des éléments favorables du climat et écarter ceux qui sont défavorables afin d'obtenir le meilleur confort thermique. Les moyens sont les suivants :

- 1/ connaître le site et utiliser ses avantages : protection naturelle aux vents froids et au soleil estival grâce à la topographie du terrain ou à la végétation, masques solaires...
- 2/ construire un bâtiment compact et ouvert au sud. Les formes et les orientations sont choisies en fonction de l'ensoleillement. Le bâtiment est relativement compact pour éviter les déperditions tout en maximisant les apports solaires gratuits en période froide.
- 3/ répartir et organiser les pièces en fonction des usages des occupants, de manière à ce que l'ambiance thermique corresponde aux activités et aux heures d'utilisation. Les espaces situés au nord seront plutôt des espaces « tampons », rarement utilisés mais jouant un rôle protecteur vis-à-vis du froid.
- 4/ associer une forte épaisseur d'isolation à une bonne inertie. Tous les matériaux ont des caractéristiques thermiques différentes qu'il faut associer pour être performant.

La conception bioclimatique doit permettre a minima de :

- réduire les besoins de chauffage à de simples systèmes d'appoints
- limiter voire supprimer les problèmes de surchauffe en été sans recours à la climatisation
- avoir une autonomie thermique en demi saison

De façon transversale à ses critères, l'emploi de matériaux sains et locaux est préconisé. Les matériaux constitutifs du bâtiment seront analysés selon :

- leur impact sur la santé
- leur caractéristique technique
- leur capacité de conservation dans le temps
- leur provenance
- leur consommation d'énergie grise
- leur niveau de pollution de la fabrication à la destruction

l'environnement  
et le site

la compacité

l'orientation

les ouvertures  
au sud

l'organisation  
des pièces de vie

l'inertie et  
l'isolation

le choix des  
matériaux

la ventilation

## Application/écocentre

Ce bâtiment est un rectangle simple, donc une forme compacte. Il comporte un étage, ce qui limite les surfaces en contact avec l'extérieur par rapport à un bâtiment de même superficie mais sur un seul niveau. L'enveloppe thermique est optimisée.

Les grandes ouvertures se trouvent sur la façade sud et elles sont protégées par différents éléments (volets, avancée de toiture...).

Le soleil chauffe le bâtiment par ce vitrage sud. La terre crue présente à l'intérieur accumule la chaleur, régule l'hygrométrie et l'isolation évite les déperditions.

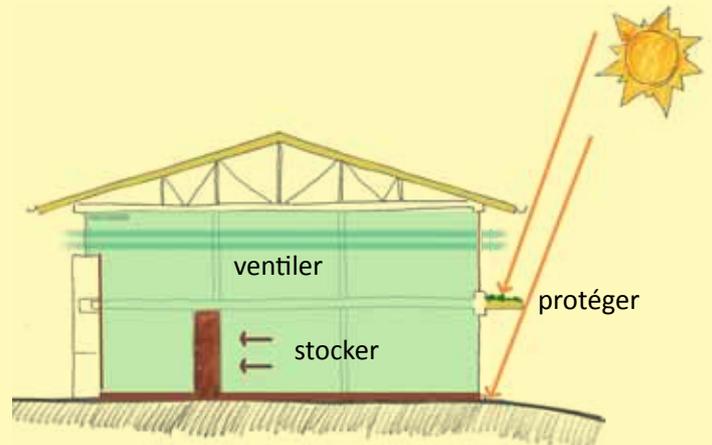
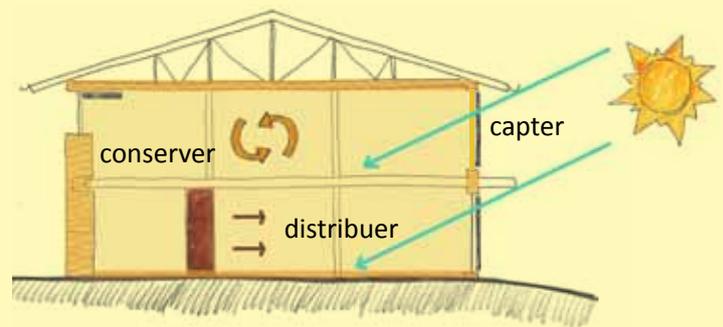
La conception bioclimatique peut-être explicitée par deux stratégies qui correspondent aux saisons d'été et d'hiver.

La stratégie d'hiver :

- Capter l'énergie solaire : grandes ouvertures au sud
- Conserver une température intérieure agréable : isolation performante (bottes de paille pour les murs, chanvre pour le sol, laine de mouton et ouate de cellulose pour les combles)
- Distribuer la chaleur : mur accumulateur chauffant

La stratégie d'été :

- Se protéger des rayons du soleil : débord de toit et casquette végétale
- Ventiler et renouveler l'air : bâtiment s'ouvrant au nord et au sud
- Stocker la chaleur : mur de masse, dalle et enduits en terre



## Quelques indicateurs pour votre projet

Votre projet est-il conçu avec les grands principes de la conception bioclimatique ?

Afin d'avoir une vision rapide de quelques uns des paramètres décrits ci-dessus, il existe des indicateurs, simples à calculer, qui vous aideront à optimiser les ouvertures, leurs emplacements... Ensuite, le travail est un aller-retour entre ces valeurs et le dessin du projet.

### Coefficient de forme / La compacité

C'est la somme de toutes les surfaces de l'enveloppe thermique par rapport au volume thermique. L'enveloppe thermique est la frontière physique entre le volume à tempérer et l'extérieur. Le coefficient s'exprime donc en  $m^2/m^3$  et qualifie l'intensité des échanges thermiques du volume créé. Plus il est élevé, plus il y aura d'échanges thermiques avec l'extérieur.

Valeur cible : inférieur à 1

### Taux de vitrages / L'orientation

C'est la somme de toutes les surfaces de vitrages par rapport à la surface habitable. Il s'exprime donc en % et qualifie la porosité du projet. Plus il est élevé, plus le projet est vitré.

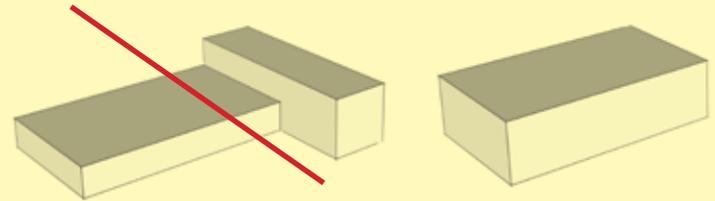
Valeur cible par rapport à la RT 2012 : 17 %

### Répartition des vitrages / Les ouvertures au sud

C'est la surface de vitrage sur une orientation par rapport à la surface totale des vitrages. Elle s'exprime donc en % et qualifie la capacité du projet à récupérer des apports solaires suivant les orientations.

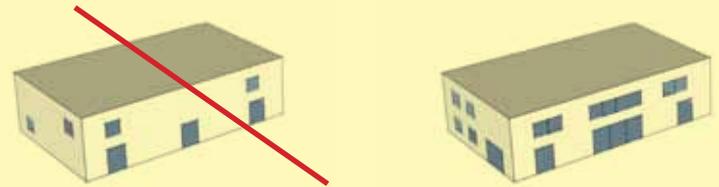
Valeur cible : 60 % au sud, 15 % à l'est et à l'ouest ainsi que 10 % au nord

### Coefficient de forme / La compacité



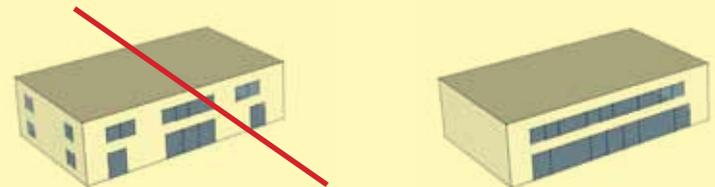
$$= S (m^2)/V(m^3)$$

### Taux de vitrages / L'orientation



$$= S \text{ vitrage}(m^2)/S \text{ habitable}(m^2)$$

### Répartition des vitrages / Les ouvertures au sud

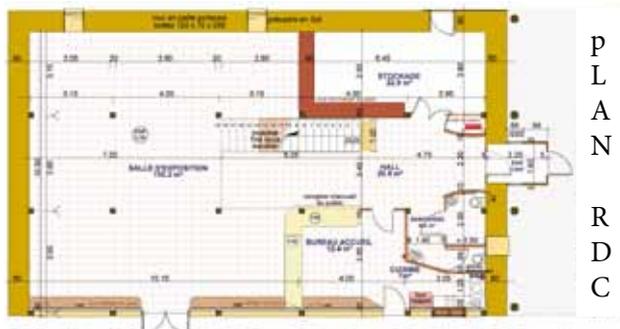


$$= S \text{ vitrage orientation } (m^2) / S \text{ vitrage totale } (m^2)$$

## Calculs sur le bâtiment

Le bâtiment de l'écocentre a été conçu afin de limiter les déperditions avec l'extérieur et favoriser les apports solaires gratuits.

Sa forme, son orientation et le plan ont été pensés selon les critères de la conception bioclimatique.



### Coefficient de forme / La compacité

Le bâtiment est un parallélépipède simple, sans renforcement ou débord qui multiplieraient les surfaces en contact avec l'extérieur. Le coefficient de forme 0,65 souligne cette compacité.

### Taux de vitrages / L'orientation

Le chiffre de 18 % calculé ici est acceptable en fonction de la valeur donnée par la RT 2012 et permet un confort intérieur lumineux.

### Répartition des vitrages / Les ouvertures au sud

Selon les critères du bioclimatisme, le bâtiment répond largement à cet ordre de grandeur avec une large proportion de vitrage au sud. La façade ouest, elle, est aveugle, car c'est d'ici que viennent les vents dominants dans la région.

### Coefficient de forme / La compacité

$$= S (m^2)/V(m^3)$$

sol : 11 m x 18 m = 198 m<sup>2</sup>

façades sud et nord : 18 m x 5,2 m x 2 = 187,2 m<sup>2</sup>

façades est et ouest : 11 m x 6 m x 2 = 131 m<sup>2</sup>

toiture : 18,5 m x 6,7 m x 2 = 247,9 m<sup>2</sup>

surface totale : S = 764,1 m<sup>2</sup>

volume : 1178,1 m<sup>3</sup>

$$764,1 m^2 / 1178,1 m^3 = 0,65$$

### Taux de vitrages / L'orientation

$$= S \text{ vitrage}(m^2)/S \text{ habitable}(m^2)$$

surface habitable : S = 343 m<sup>2</sup>

somme des vitrages : S = 61 m<sup>2</sup>

$$61 m^2 / 343 m^2 = 17,78 \%$$

### Répartition des vitrages / Les ouvertures au sud

$$= S \text{ vitrage orientation } (m^2) / S \text{ vitrage totale } (m^2)$$

surface totale vitrage : S = 61 m<sup>2</sup>

surface vitrage ouest = 0 m<sup>2</sup>

0 %

surface vitrage nord = 4,075 m<sup>2</sup>

6,7 %

surface vitrage est = 7,19 m<sup>2</sup>

11,8 %

surface vitrage sud = 49,82 m<sup>2</sup>

81,7 %





# PARTIE 1 / GROS OEUVRE

---

Le gros oeuvre représente la structure principale et porteuse du bâtiment. Ce sont les premiers travaux engagés qui donnent la volumétrie générale du bâtiment, son enveloppe.

Les 8 fiches techniques suivantes comprennent notamment la mise en oeuvre des techniques spécifiques appliquées pour les murs, la toiture, les sols... ou encore les caractéristiques des différents matériaux employés.

Fondations/soubassement	19
Mur en terre crue : pisé	21
Murs en bottes de paille porteuses	23
Structure et charpente bois	25
Sol isolant en chaux-chanvre sur hérisson ou terre-plein	27
Revêtement en carreaux de terre cuite sur mortier de chaux maigre	29
Dalle extérieure en chaux	31
Toiture terrasse végétalisée	33
+ Calcul de l'inertie dans le bâtiment et test déphasage du mur en pisé	35

### Localisation

Les fondations sont situées sous les murs du bâtiment. Le soubassement est la partie inférieure des murs d'une construction, qui repose sur les fondations.

### Fonction

Une fois que les fondations sont coulées et assurent un ancrage du bâtiment sur le terrain, le soubassement, lui, sert à poser la première rangée de bottes de paille, 20 cm au dessus du sol afin de les protéger de l'humidité. C'est la concrétisation de l'expression «de bonnes bottes».

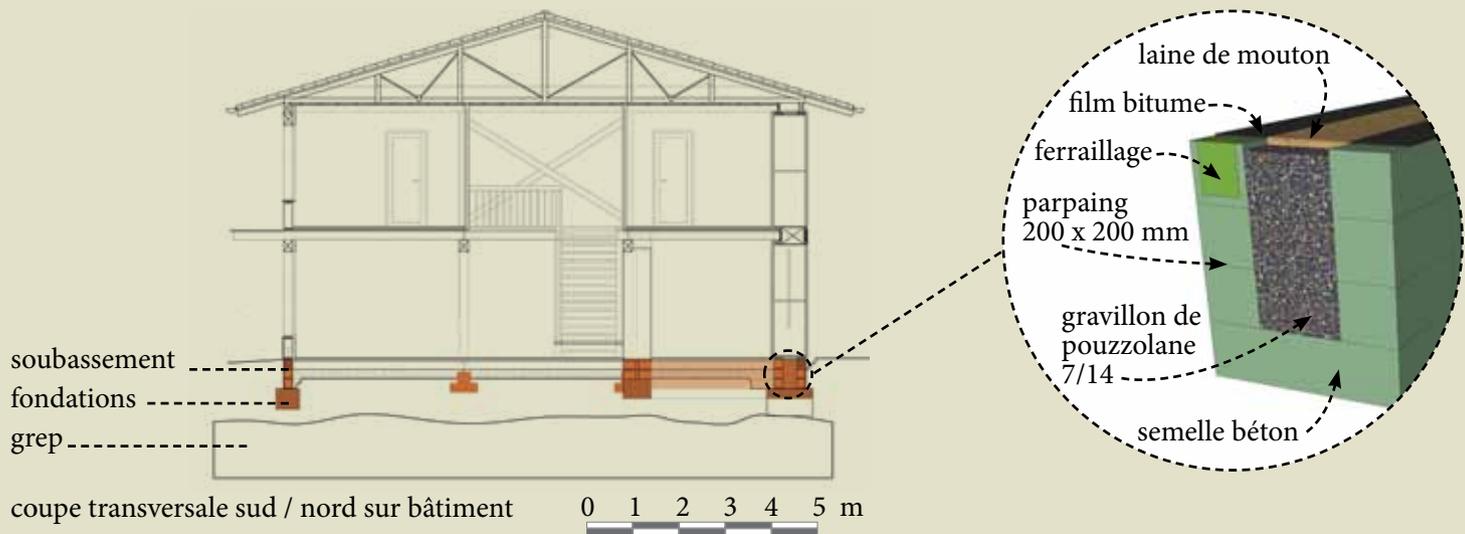
### Mise en oeuvre

Dans un premier temps, il y a le décapage de l'emplacement du bâtiment : la couche superficielle, dite de « bonne terre » ou de « terre végétale », est retirée.

Ensuite, on effectue le creusage des fouilles : les fondations doivent toujours être hors gel (qui n'est pas menacé par le gel), ce qui correspond à une profondeur de 50 cm dans la région. Elles sont d'une largeur de 80 cm sur une profondeur de 50 cm avec tous les 4 mètres, une descente jusqu'au Grep (définition ci-contre) soit 80 cm. On procède ensuite au coulage du béton de propreté, faiblement dosé, sur 5 à 10 cm qui a pour objectif d'isoler les armatures métalliques du sol pour qu'elles ne rouillent pas. On termine avec la mise en place des armatures et le coulage de la semelle (1). Les fondations sont en béton armé car c'est simple à mettre en oeuvre et il y a une attention à l'énergie grise.

Le soubassement est constitué de deux rangées de bloc d'aggloméré (2) d'une hauteur de 60 cm, espacés de 30 cm sur tout le contour du bâtiment, avec au milieu de la pouzzolane. Elle s'épand en vrac sur un sol propre. Elle ne nécessite pas d'ajouts de matière chimique contrairement à l'argile expansée (qui a des caractéristiques similaires). De la laine de mouton, elle aussi en vrac, et un film bitume complètent l'isolation et servent de support pour la lisse basse. (3). Pour les poteaux en bois, des boisseaux en parpaing (4) serviront de coffrage.





Il existe différents types de fondations : les fondations superficielles ou courantes, les fondations profondes ou spéciales pour les mauvais terrains où les charges sont importantes. Dans le cas de l'écocentre, ce sont des fondations superficielles.

Le grep, ou l'aliou est une roche qui provient de la cimentation des grains de sable et de graviers par des hydroxydes de fer, d'aluminium, ainsi que de la matière organique.

## Caractéristiques pouzzolane

### 1. Définition

La pouzzolane est une roche constituée de projections volcaniques basaltiques provenant du Massif Central et plus particulièrement d'Auvergne pour la production française. Sa structure est alvéolaire. Grâce à sa porosité, c'est un isolant naturel minéral qui va isoler le sous-sol du bâtiment du sol extérieur.

### 2. Valeurs

Epaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance (m <sup>2</sup> .°C/W)
30	0.15	700 à 1400	2

**3. Coût :** le prix de la pouzzolane est d'environ 118 € le m<sup>3</sup>.

**4. Avantages :** résiste à la chaleur, ne flotte pas et ne se détériore pas avec l'eau, grande stabilité structurale, légère, locale (issue des carrières de la montagne noire, utilisations diverses (jardinerie, construction, route...), faible énergie grise face à ses concurrents minéraux qui sont expansés à la chaleur.

**5. Limites :** prix élevé même s'il reste le moins cher des isolants minéraux, dans la construction ce matériau reste encore difficile à trouver auprès des fournisseurs mais tend à se diffuser dans les magasins.

### Localisation

Le mur en angle en pisé est construit à l'intérieur du bâtiment, au rez-de-chaussée.

### Fonction

C'est un mur accumulateur chauffant/rafraîchissant. Des panneaux solaires thermiques chauffent de l'eau qui passe ensuite dans le mur en pisé et permet ainsi une diffusion lente de la chaleur.

### Mise en oeuvre

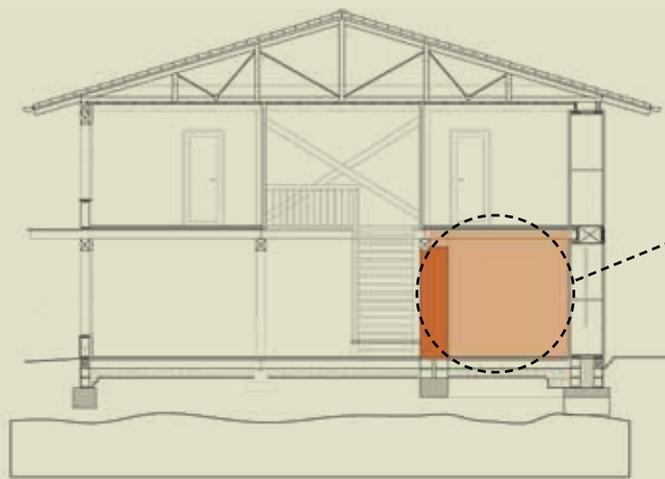
Le mur est construit avec la terre des fondations, par succession de couches horizontales sur le soubassement en parpaing. Il est isolé des remontées capillaires de ce dernier par une semelle de béton hydrofuge en mortier de chaux d'une épaisseur de 5 cm (1). La terre est ensuite déversée dans des banches en bois d'environ 60 cm de haut.

Le coffrage en bois est recouvert d'une couche d'huile de lin et de térébenthine pour faciliter le décoffrage et obtenir une surface lisse. La banche est remplie par lits de 12 cm de la terre non tassée, contenant environ 10% d'eau, du sable, du limon et du gravier. La terre est ensuite compactée, grâce à des « dames » ou « pisoirs » (masses de bois) jusqu'à obtenir une épaisseur de 8 cm. Pour obtenir les 60 cm de hauteur du coffrage il faut environ 7 couches compactées superposées.

Tout au long de la construction des tuyaux de chauffage P.E.R bi-couche sont disposés entre chaque lit de terre (2). Environ 360 m linéaire de tuyau servent à faire circuler de l'eau chaude, ce qui permettra une diffusion lente de chaleur dans le bâtiment.

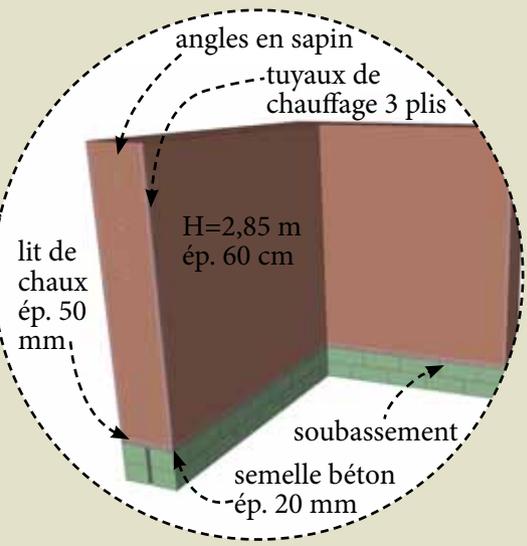
Pour les angles, zones les plus friables, on réalise des angles en sapin à base de chaux (3). Cela permet de les consolider et de les protéger. Enfin le coffrage est retiré (4), ce qui permet aux différentes couches de sécher et de se solidifier.





coupe transversale sud / nord sur bâtiment

0 1 2 3 4 5 m



## Caractéristiques pisé

### 1. Définition

Le pisé est un procédé qui consiste à construire des murs avec de la terre crue comprimée sans ossature en bois. La terre est généralement prélevée sur place, sous la couche organique. Elle doit être composée de matériaux (granulométries) différents afin d'assurer la cohésion de l'ensemble au moment du compactage (graviers, cailloux, sable, argile et limon).

### 2. Valeurs

Epaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance (m <sup>2</sup> .°C/W)
60	1.1	1 900	0.54

**3. Coût :** le prix du mur est de 180 € par m<sup>2</sup>, qui équivaut au coût de la main d'œuvre car les matériaux sont gratuits et à disposition.

**4. Avantages :** bon isolant phonique, bonne inertie thermique, stockage de l'énergie pendant la journée et restitution la nuit, 100% biodégradable, matériau naturel non transformé, produit local gratuit et à disposition, faible impact environnemental en termes de ressources utilisées et de pollutions générées, non toxique, résistance mécanique élevée à la compression, outillage simple (exemple : dames en bois).

**5. Limites :** mise en œuvre longue, nécessité de main d'œuvre importante, choix de la terre précis. Si la terre est trop argileuse (plus de 15%) le séchage laissera apparaître de nombreuses fissures. Elles sont bénignes, mais nécessitent la pose d'un enduit. Si elle en contient moins de 5%, il y a risque d'effritement. Si la terre est trop humide, elle ne pourra être comprimée.

### Localisation

La paille de blé, qui n'a subi aucun traitement, sert à la conception des murs porteurs du rez-de-chaussée et de l'étage.

### Fonction

Il existe de nombreuses techniques de construction de maisons avec des murs en paille. Les deux principales sont celle en paille remplissage et celle en paille porteuse. La première technique consiste à faire une ossature en bois et de remplir avec des colonnes de paille, la seconde technique utilise uniquement la paille pour monter les murs. Dans ce bâtiment en paille porteuse, les bottes de paille ont une double fonctionnalité : elles servent à la fois à porter le toit et le solivage du premier niveau mais aussi d'isolant. On appelle cela des murs à isolation répartie.

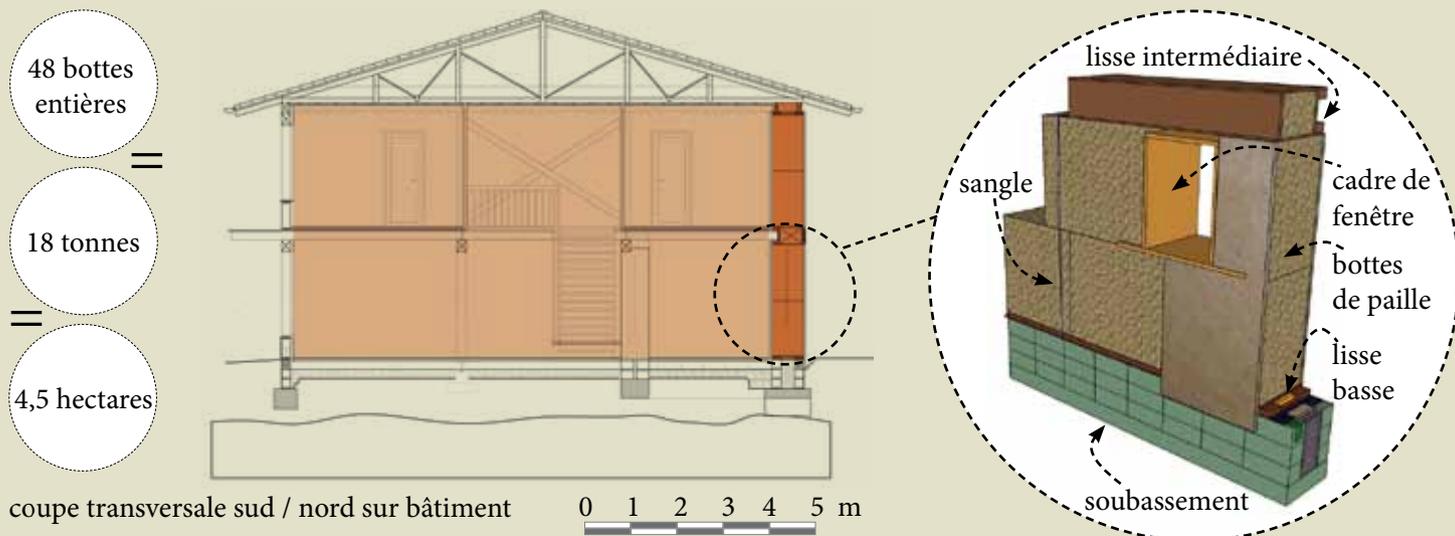
### Mise en oeuvre

Pour commencer, les lisses basses sont disposées sur le soubassement (1). Les bottes de paille (dimensions 2,40 m x 0,70 et d'une hauteur de 1,20 m) sont comprimées au maximum (380 kg ce qui équivaut à 20 petites bottes) et on les lève à l'aide d'une grue (2). Un mur est composé de deux bottes empilées, disposées en quinconce. Elles sont posées sur la tranche, c'est-à-dire à chant.

Des broches (ou pieux) en douglas sont mises en place pour permettre de lier les ballots entre eux (3). Celles-ci sont placées sur tout le pourtour du bâtiment. Il faut faire attention de bien « joindre » les bottes de pailles (surtout aux angles) pour éviter de créer des poches d'air, qui formeraient des ponts thermiques et qui pourraient ainsi détériorer fortement l'isolation de la maison. Pour la rangée suivante, qui est posée sur une lisse intermédiaire, le même processus est utilisé. Enfin, une lisse haute, qui répartira le poids de la toiture, termine et délimite l'arase du mur. Les bottes sont ensuite sanglées ensemble, tous les 40 cm, à travers les lisses haute, intermédiaire, et basse afin de rattacher le toit aux fondations (4). L'ensemble du bâtiment est solidaire.

Les cadres flottants des portes et fenêtres (réalisées en atelier en KLH), qui accueillent à terme les menuiseries, sont installés au fur et à mesure entre les bottes. En à peine cinq jours, le bâtiment est « monté » et prêt à recevoir les enduits et le toit. C'est une construction très rapide comparée à une maison classique (murs et isolation) où il faut compter 3 mois environ.





## Caractéristiques paille

### 1. Définition

Il existe différents types de pailles : de blé, de seigle, d'avoine ou d'orge. Toutes peuvent être utilisées du moment qu'elles sont sèches, sans graines, et sans pourriture. Les bottes, grâce à une botteleuse sont ficelées et comprimées à forte densité.

### 2. Valeurs

Epaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance (m <sup>2</sup> .°C/W)
70	0.065	188	10.8

**3. Coût :** le prix d'un ballot est d'environ 15 € par m<sup>2</sup>. La fourniture et la pose des bottes de paille reviennent à 26 250 € dont 3360 € pour les bottes de paille.

**4. Avantages :** montage rapide et simple, stabilité au feu car les bottes sont comprimées et enduites et donc il n'y a pas d'oxygène piégé ce qui ralentit la combustion, résistant au feu B-s1-d0 (B : Produit combustible à contribution au « flash over » très limitée - s1 : Faible production de fumées - d0 : Absence de gouttelettes et de débris enflammés). En France, la réglementation donne un degré coupe-feu à atteindre de 30 minutes, les tests sur la paille prouvent que ce matériau est résistant. En Allemagne, les essais d'un laboratoire « réputé mondialement » ont permis de quantifier à 90 min le degré coupe-feu d'une botte de paille revêtue d'un enduit. C'est un très bon isolant, affaiblissement acoustique bon, pas de dégagements toxiques, 100 % biodégradable, stockage de CO<sub>2</sub>, produit local, pas de concurrence alimentaire, énergie grise très faible, utilisation restreinte du bois, moins exposé aux rongeurs que les murs à isolation rapportée car pose d'un grillage anti-rongeurs en pieds de mur (hauteur de 60 cm) et la cellulose de la paille leur est indigeste, faible coût du matériau. Enfin c'est une construction qui résiste aux tremblements de terre car « souple », qui accompagne les mouvements du sol.

**5. Limites :** demande une bonne coordination de chantier pour la mise rapide hors d'eau et hors d'air.

### Localisation

L'ossature bois poteau poutre est en douglas. La structure comprend la façade sud et les croix de Saint André situées à l'ouest et au centre du bâtiment.

Les fermettes sont posées sur les bottes de paille.

### Fonction

L'ossature bois remplit une fonction mécanique, elle assure la stabilité face au vent (actions et forces horizontales). Pour cela elle est réalisée avec des contreventements. Ce sont des éléments de construction destinés à protéger le bâtiment contre les déformations dues à différents efforts. Ici, le bâtiment est protégé des efforts exercés sur les façades nord et sud grâce aux croix de Saint André alors que ce sont les allèges de la façade sud qui le protègent des efforts venant de l'est et de l'ouest. Cette structure sert également à porter le solivage de l'étage et constitue l'ossature de la façade sud.

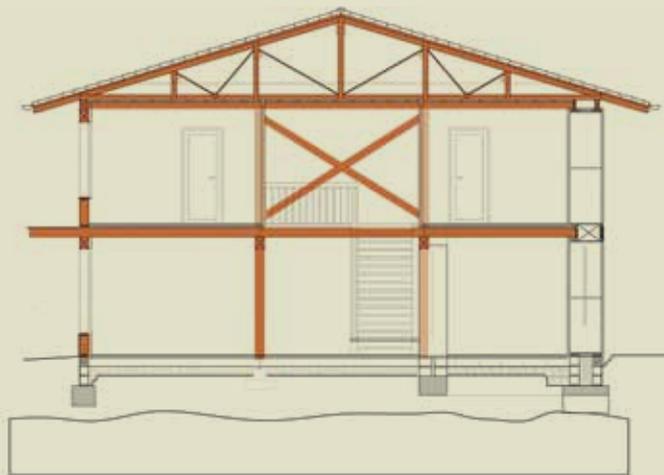
La charpente est en fermette pour une meilleure répartition des charges sur les murs porteurs. Elle accueille la couverture du bâtiment.

### Mise en oeuvre

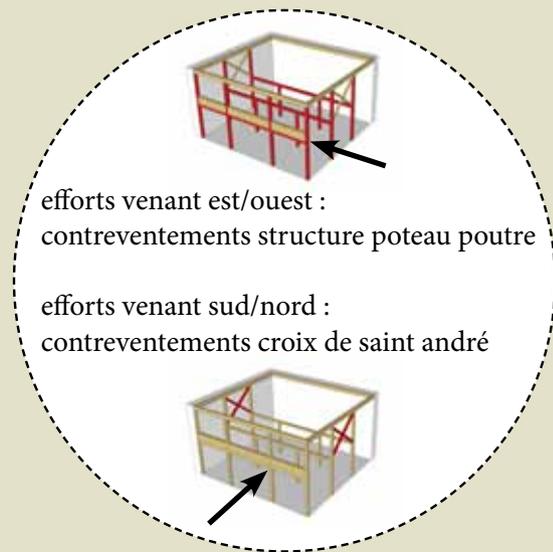
Dans un premier temps, on monte les poteaux et les poutres, que l'on stabilise au fur et à mesure grâce aux contreventements. Les poteaux sont fixés dans les boisseaux ou sur le soubassement par des platines métalliques (1).

Les fermettes sont montées en atelier, avant d'être livrées sur le site. L'assemblage des fermettes entre elles est effectué au sol, avec l'ajout des contreventements. De par la grande taille du bâtiment, cet assemblage sera divisé en trois parties. Pour une maison il est possible de faire un seul montage. Une fois toutes les structures liées, elles sont déplacées par une grue (2) afin d'être placées et fixées sur les murs du bâtiment (3). Une fois la structure et la charpente montées, on pose les tuiles de la couverture (4).





coupe transversale sud / nord sur bâtiment 0 1 2 3 4 5 m



efforts venant est/ouest :  
contreventements structure poteau poutre

efforts venant sud/nord :  
contreventements croix de saint andré

Ci-dessus, la représentation des efforts (par exemple le vent) exercés sur les façades du bâtiment. Les forces sont réparties dans les différents éléments de la structure : croix de Saint André et structure poteau poutre.

## Caractéristiques structure poteau poutre et charpente fermettes

### 1. Définition

La charpente correspond à l'assemblage de pièces de bois et/ou de métal qui sert à couvrir ou porter une construction. L'ossature de la façade sud et du solivage du premier niveau est une structure poteau poutre : la charge est répartie sur des poutres. La charpente en fermettes est une charpente qui répartit la charge de manière uniforme sur les murs porteurs.

Le choix du douglas pour l'essence du bois a été fait en fonction de ses différentes propriétés mécaniques ainsi que pour sa bonne résistance naturelle aux champignons, capricornes, vrillettes. De par sa résistance naturelle et le respect des règles de conception, ce bois permet de se passer de traitement chimique et nocif, ce qui donne une garantie d'habitation saine.

### 2. Valeurs

masse volumique ou densité du bois (à 12%) : 500 kg/m<sup>3</sup> en moyenne

contrainte à la rupture en flexion (MOR) : 41 MPa

module d'élasticité local en flexion (MOEL) à 12% : 13 MPa

3. **Coût** : les fermettes et leur mise en oeuvre ont coûté 12 117 € TTC dans la construction de l'écocentre.

4. **Avantages** : montage rapide des fermettes et au sol, avec une bonne coordination une maison peut-être hors d'eau dans la journée, meilleure répartition des forces.

5. **Limites** : les combles ne sont pas aménageables.

# CHAPE ISOLANTE CHAUX-CHANVRE

## sur hérisson ou terre plein

GROS OEUVRE

### Localisation

Le sol de toute la surface du rez-de-chaussée dans le bâtiment.

### Fonction

Le hérisson est un lit de graviers roulés et lavés qui sert de support et de barrière anti-remontée d'humidité. Sa mise en place protège donc le chanvre d'un éventuel pourrissement.

Cette dalle permet de créer un sol stable et pouvant supporter des charges. Elle permet de réguler l'hydrothermie et assure une isolation thermique.

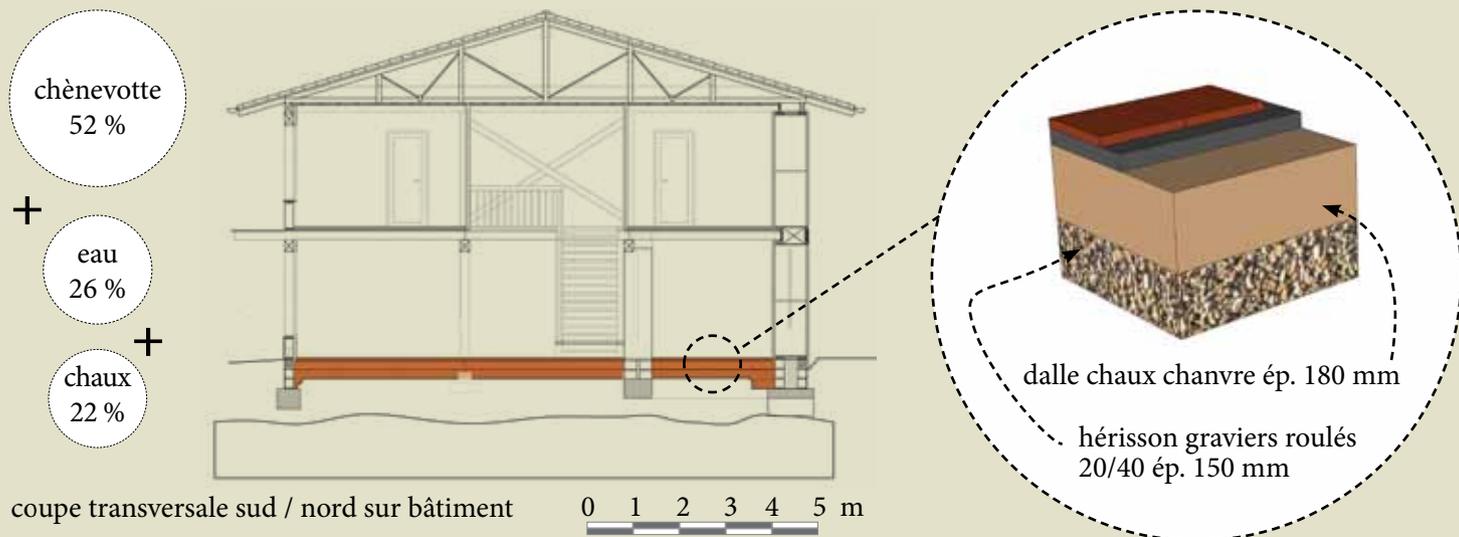
### Mise en oeuvre

Dans un premier temps on réalise le hérisson (1). L'épandage des matériaux est mécanique (pelle mécanique et râteliers).

Pour la mise en oeuvre de la dalle chaux chanvre, on mélange d'abord la chaux avec de l'eau et le chanvre dans une bétonnière ou malaxeuse (2). Une attention particulière sera portée pour éviter les excès d'eau lors du mélange. Son nivellement sera assuré par léger compactage. Plus la quantité de chènevotte est élevée, plus le pouvoir est isolant.

La dalle chaux chanvre, qui représente donc le composant isolant du sol, est étendue à l'intérieur directement sur le hérisson (3). La dalle est ensuite aplanie manuellement (4).





## Caractéristiques chanvre

### 1. Définition

Le chanvre est une plante à fibres solides qui n'a besoin d'aucun engrais, résistant, imputrescible... La chènevotte, la partie centrale de la tige, est constituée de plusieurs canaux dans lesquels circule la sève. Quand la tige est sèche, l'air remplace la sève et il lui confère ses qualités isolantes. La chènevotte apparaît sous forme de granules une fois les fibres enlevées (elles seront aussi utilisées pour l'isolation).

### 2. Valeurs

Épaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance (m <sup>2</sup> .°C/W)
18	0.04	30-40	4.5

**3. Coût :** le prix d'un sac de chènevotte de 20 kg est de 18 €. Compter pour 10 m<sup>2</sup> de 18 cm d'épaisseur, 1.8 m<sup>3</sup> kg de chanvre soit 180 kg (environ 180 €).

**4. Avantages :** apporte une très bonne isolation thermique et phonique et l'air est moins sec dans le bâtiment, supporte de grandes déformations sans se fissurer, face aux incendies il n'y a pas de dégagements toxiques. C'est un produit 100% naturel, recyclable et biodégradable après destruction, qui a un coût similaire aux matériaux traditionnels. C'est un coproduit agricole. De plus, son énergie grise est faible (fabrication à froid, séchage à l'air libre).

**5. Limites :** selon la quantité de liant le chanvre n'a pas la même capacité thermique, sensibilité à l'humidité, ne convient pas aux lieux humides.

## Caractéristiques chaux

voir fiche «DALLE EXTÉRIEURE EN CHAUX» en gros oeuvre

# SOL EN CARREAUX DE TERRE CUITE

sur mortier de chaux maigre

GROS OEUVRE

## Localisation

Le revêtement de sol de toute la surface du rez-de-chaussée dans le bâtiment.

## Fonction

Obtenir une surface lavable où l'on peut marcher et appliquer des efforts.

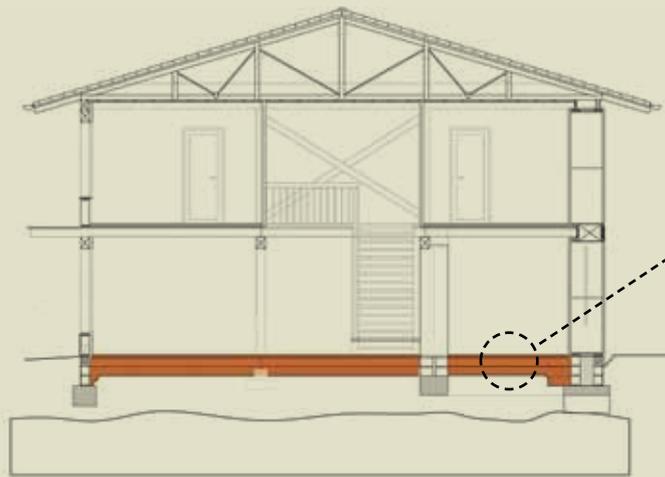
## Mise en oeuvre

Les tomettes sont disposées sur une chape en béton de chaux hydraulique maigre de 5 cm (1), qui elle même est saupoudrée de chaux (2). Avant de poser les tomettes il faut les faire tremper dans de l'eau pendant 24 H. Cela permettra une découpe plus facile (sans poussière) et évitera qu'elle n'absorbe l'eau de la barbotine.

La pose est dite «à l'avancée» ce qui veut dire qu'on les dispose au fur et à mesure que la chape est tirée (3). Enfin, les joints sont effectués avec un mélange de chaux et de sable fin. Un nettoyage avec du vinaigre blanc permettra d'enlever la laitance (trace blanche due à la chaux).

Après le séchage, qui prendra un mois minimum, il faut effectuer un traitement de surface, par exemple avec un mélange de térébenthine et d'huile de lin (4). L'entretien se fait avec du savon noir qui nourrit et patine les carreaux.

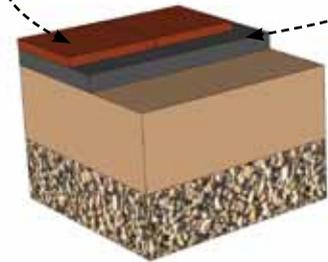




coupe transversale sud / nord sur bâtiment

0 1 2 3 4 5 m

tomettes terre cuite  
290 x 290 mm ép. 23 mm  
chape de pose ép. 40 mm



## Caractéristiques tomette

### 1. Définition

Les tomettes sont des carreaux de terre cuite, elles constituent un revêtement naturel et écologique. Elles permettent la respiration du matériau de support sur lequel il est posé tout en assurant une bonne inertie.

### 2. Valeurs

Epaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance (m <sup>2</sup> .°C/W)
5	0.69	1800	0.07

3. **Coût** : le prix varie entre 13 € (tomettes neuves) et 80 € (tomettes anciennes traditionnelles) le m<sup>2</sup>.

4. **Avantages** : résistantes au feu et à l'usure, bonne qualité thermique, matériaux respirant et non toxique, matériau local.

5. **Limites** : la mise en œuvre des tomettes demande un savoir faire et le temps de séchage est assez long, poreuses, elles nécessitent un traitement pour résister aux tâches.

## Caractéristiques chaux

voir fiche «DALLE EXTÉRIEURE EN CHAUX» en gros oeuvre

### Localisation

Le sol de toute la surface de la matériauthèque.

### Fonction

Le hérisson est un lit de graviers roulés et lavés qui sert de support et de barrière anti-remontée d'humidité.

A l'extérieur, le choix s'est orienté sur un béton de chaux pour la dalle, car il est moins énergivore qu'un béton classique et permet de faire respirer le sol. Ce type de béton permet d'éviter que l'eau ne stagne en sous-sol et qu'elle ne s'infiltré dans les murs. Il permet également d'obtenir une dalle dure, contrairement aux a priori que l'on peut avoir concernant ce matériau.

### Mise en oeuvre

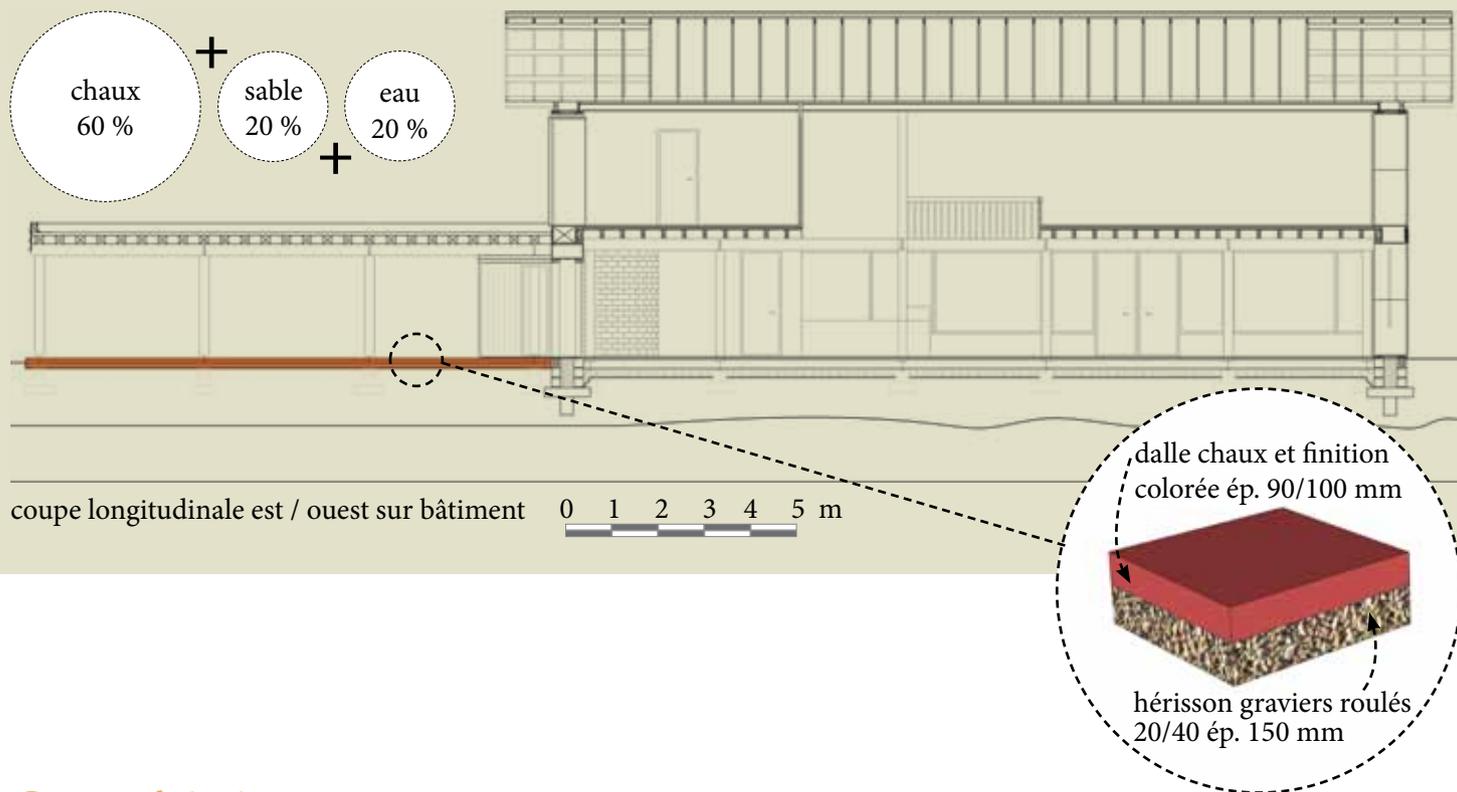
Comme pour l'intérieur du bâtiment, le sol est constitué de plusieurs éléments qui se mettent en oeuvre à des moments différents de la construction.

Dans un premier temps, il y a la pose du hérisson d'une épaisseur de 15 cm (voir CHAPE ISOLANTE CHAUX-CHANVRE (1)).

Le béton de chaux est réalisé sur place. C'est un mélange de sable et de chaux conditionné en BIG BAG de 1 m<sup>3</sup>. Le mélange avec l'eau se fait à l'aide d'un silo équipé d'une vis sans fin permettant l'humidification du mélange. Il est déversé et tiré à la règle (2).

Une fois la dalle accessible, la finition colorée est effectuée. La base colorante est composée de pigment rouge de silice très fine et de chaux. Elle est appliquée à l'aide d'un hélicoptère (3), qui va permettre d'obtenir une surface lisse avec une coloration homogène.





## Caractéristiques chaux

### 1. Définition

La chaux est obtenue à partir d'un calcaire cuit à une température comprise entre 800 et 1100°C. Selon la composition initiale du calcaire (sa pureté, la présence ou non d'argile...), on obtient soit de la chaux hydraulique soit de la chaux aérienne. Ces deux types de chaux n'ont pas les mêmes propriétés, en effet la première est appelée «hydraulique» car elle durcit en présence d'eau alors que la seconde réagit avec le CO<sup>2</sup> de l'air. La chaux utilisée est une chaux hydraulique NHL5.

### 2. Valeurs

Epaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance (m <sup>2</sup> .°C/W)
4	0.3	590	0.13

3. **Coût** : le prix d'un sac de chaux NHL5 de 35 kg est d'environ 12 €.

4. **Avantages** : matériau respirant et imperméable, permet la régulation de l'humidité par évaporation lente suivant le taux d'humidité dans la pièce, peut se travailler pendant plusieurs heures, souple et onctueuse (ces critères varient en fonction des chaux) et antibactérienne, elle assainit le support, faible coût pour une finition colorée.

5. **Limites** : matériau irritant, sa mise en oeuvre nécessite le port de gants, masque et lunettes de protection. Le temps de séchage est long, 2-3 mois pour un séchage complet mais possibilité de poser un revêtement dès 1 mois.

### Localisation

La toiture végétalisée extensive est située sur la matériauthèque.  
Ce type de structure peut aussi être utilisée comme terrasse accessible.

### Fonction

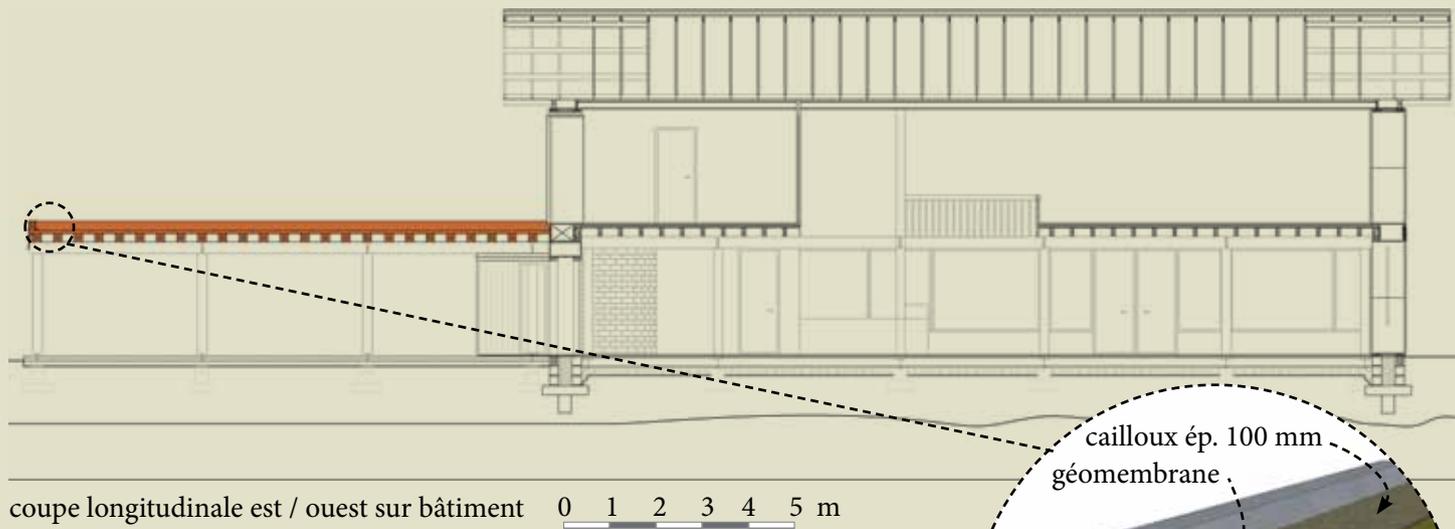
Cette technique améliore la protection thermique (exemple : excès de chaleur) et phonique, régule l'eau de pluie en absorbant les pointes de précipitations et libère de l'oxygène tout en fixant le CO<sup>2</sup>. Cette terrasse permet d'améliorer le bien-être des habitants. De plus, l'aspect esthétique est indéniable et c'est un espace extérieur agréable et appropriable.

### Mise en oeuvre

La terrasse végétalisée a une pente de 1% afin de diriger les eaux de pluie vers l'est et les deux gouttières. Elle est composée de couches superposées, qui se posent sur la structure bois représentée ici par les solives :

- un support en bois appelé volige
- un feutre géotextile bidim P20 qui protège la membrane des aspérités du support et des frottements liés au travail de la structure bois
- une géomembrane EPDM (à base de caoutchouc) Pond Gard 1.02 mm qui assure l'étanchéité de la toiture
- un second feutre géotextile qui protège la membrane des poinçonnements ou perforations
- une zone en cailloux est aménagée sur l'ensemble du pourtour de la terrasse (1) ainsi que devant la baie vitrée qui permet l'accès à celle-ci. Elle crée un drainage permettant à l'excédent d'eau de s'écouler. Il sert également à autoriser les déplacements
- de la terre végétale (2), séparée des cailloux par un géotextile, où poussent les sedums (plantes grasses et/ou de rocaille)
- une protection de l'acrotère en zinc (3) est installée tout autour de la terrasse terminée (4).





## Caractéristiques toiture végétalisée

### 1. Définition

Il existe différents types de toiture terrasse végétalisée :

- les extensives, avec des plantes qui demandent peu d'entretien (mousses, sedums...), une épaisseur de substrat et une charge faible.
- les semi-intensives et les intensives avec un choix de végétation plus large mais qui demande plus d'entretien, une épaisseur de substrat et une charge plus importante.

**3. Coût :** pour une toiture végétalisée, il est compris entre 50 € et 200 € le m<sup>2</sup>.

**4. Avantages :** fixation des poussières et pollens, stockage de CO<sub>2</sub>, protection contre la chaleur et le froid, bonne isolation phonique, coût d'entretien faible, création d'un microclimat, possibilité d'utiliser des dalles pré-végétalisées, faible coût d'étanchement.

**5. Limites :** la plupart des toitures végétalisées sont des toitures terrasses comprenant une faible pente pour l'écoulement des eaux (par exemple 1 ou 2 %) mais il est possible de végétaliser des toits à pente et à forte pente (jusqu'à 60 °), nécessite une structure robuste pour pouvoir supporter le poids du toit avec les différents composants.

# CALCUL DE L'INERTIE

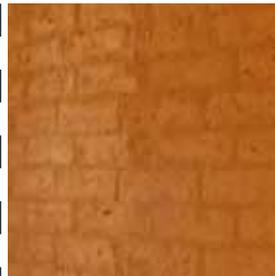
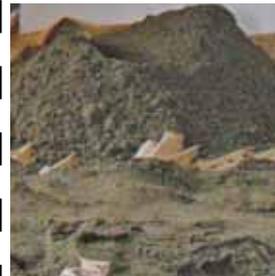
## dans le bâtiment

## GROS OEUVRE

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à emmagasiner puis à restituer la chaleur de manière diffuse. Plus l'inertie d'un bâtiment est forte, plus il se réchauffe et se refroidit lentement.

Cela permet d'obtenir un déphasage thermique (décalage dans le temps) par rapport aux températures extérieures : ainsi lorsqu'on chauffe une maison, les éléments à forte inertie (murs, dalles, ...) vont accumuler de la chaleur et vont ensuite la restituer pendant des heures, même si on coupe le système de chauffage.

Voici les cinq éléments qui apportent de l'inertie à l'écocentre :

				
<u>mur en pisé</u>	<u>sol en mortier de chaux et terre cuite</u>	<u>enduits terre intérieurs</u>	<u>mur en adobes</u>	<u>sable isolation phonique</u>
Poids :	Poids :	Poids :	Poids :	Poids :
22 tonnes	23,6 tonnes	10 tonnes	1400 kg	9 tonnes

**total inertie du bâtiment = 66 tonnes**

# TEST DÉPHASAGE DU MUR EN PISÉ

## étude du comportement d'un mur à forte inertie en terre crue

GROS OEUVRE

### Un contexte

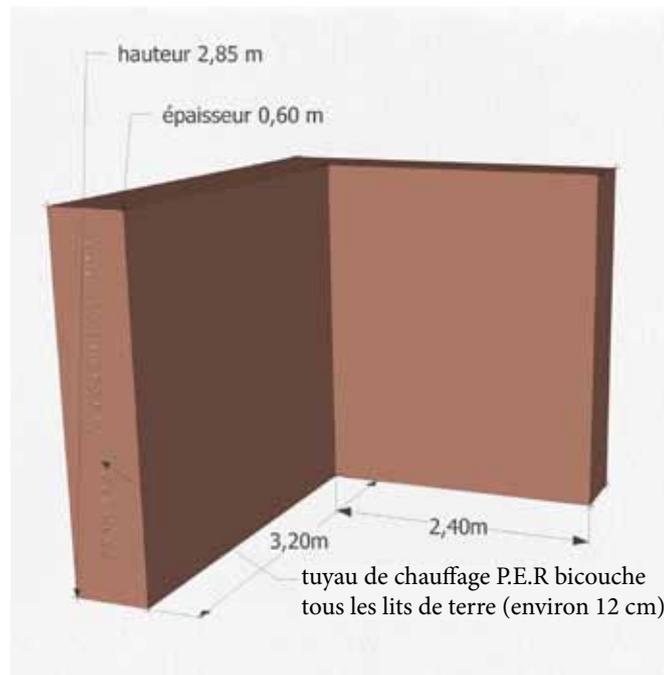
Le système de chauffage est essentiellement un système passif, grâce à la façade sud entièrement vitrée. En complément, les panneaux solaires thermiques (10 m<sup>2</sup> en orientation sud et inclinaison 62°) chauffent de l'eau qui passe ensuite dans le mur en pisé. C'est un mur accumulateur chauffant/rafraîchissant.

### Un test

Le but de ces mesures est de comprendre et d'évaluer le temps de déphasage d'un mur en pisé et donc du matériau terre sous cette mise en oeuvre spécifique.

### Une méthode

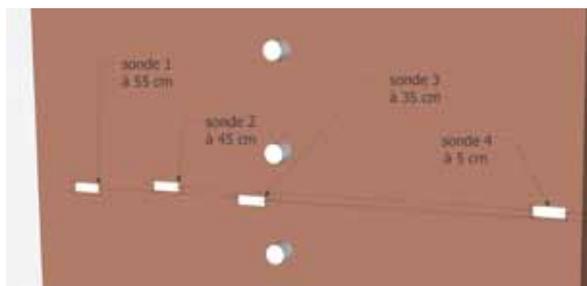
Il y a une prise de température par des sondes situées dans le mur de masse à différents endroits ainsi qu'à l'entrée et sortie d'eau. Le souhait est de regarder dans un premier temps sur un axe horizontal et un axe vertical pour voir les variations. Il y a une prise de mesure toutes les 30 minutes pendant 4 mois dans un premier temps, qui sont analysées par un logiciel relié à l'installation.



### Détail de l'installation

Les sondes sont glissées dans des trous (passage des tiges filetées pour le montage des banches).

Boîtier 58
Sonde 1 : tuyau haut
Sonde 2 : tuyau bas
Sonde 3 : à 35 cm partie haute du mur
Sonde 4 : à 35 cm partie basse du mur
Boîtier 59
Sonde 1 : à 55 cm
Sonde 2 : à 45 cm
Sonde 3 : à 35 cm
Sonde 4 : à 5 cm



ci-dessus : vue en coupe du test axe horizontal boîtier 59

ci-contre à droite : vue en coupe du test axe vertical boîtier 58





## PARTIE 2 / SECOND OEUVRE

---

Le second oeuvre représente les éléments, souvent intérieurs, qui aménagent l'espace. Ils sont réalisés une fois que le bâtiment est bien avancé. Ces travaux complètent, entre autre, l'isolation du bâtiment, apportent les menuiseries et lui donnent son aspect esthétique final.

Les 8 fiches techniques suivantes expliquent notamment la fonction de chacun des éléments du second oeuvre ou - comme pour les fiches précédentes - les caractéristiques des différents matériaux employés.

Vitrage de différents types	39
Volets en liège ou en bois	41
Isolation des combles : en ouate de cellulose et laine de mouton	43
Enduits terre : les trois couches	45
Isolation phonique du plancher : avec du sable et un parquet flottant	47
Cloisons en terre crue : murs courbes en adobes	48
Cloisons intérieures sèches : en ouate de cellulose et fermacell sur ossature bois	49
Revêtements intérieurs : peinture à la caséine et tadelakt	51

# VITRAGE

## de différents types

### ● SECOND OEUVRE

### Localisation

Les vitres du bâtiment se situent en majorité sur la façade sud, il y en a aussi quelques unes sur la façade nord ainsi que sur la façade est.

La façade ouest, plus exposée aux intempéries, est aveugle.

### Fonction

La disposition des vitrages est due à la conception bioclimatique du bâtiment.

On retrouve une grande surface vitrée au sud pour avoir un apport important de lumière et un apport de chaleur en hiver.

Les vitrages et portes sont en vitrage sécurité retardateur d'effraction (SP10/16/4) avec intercalaire warm edge. En effet le bâtiment étant un ERP (Établissement Recevant du Public) il y a des règles de sécurité et incendie à respecter.

Le «warm edge» est un terme anglais s'appliquant à certains intercalaires utilisés dans la fabrication des vitrages isolants. Il s'agit des profilés situés à la périphérie de chaque vitrage isolant entre les deux couches de verre. En français, on parle de « vitrage à bords chauds » quand l'intercalaire utilisé a des performances thermiques améliorées par rapport aux profils métalliques utilisés habituellement.

L'utilisation de ces profilés permet un gain d'environ  $0,1W/m^2.K$  sur le coefficient de transmission  $U_w$  de la fenêtre. Ces vitrages à bords chauds permettent, à conception égale, des gains de 5 à 7% sur les performances thermiques de l'ensemble de la paroi vitrée.

Trois types de vitrage à titre d'expérimentation

Pour la façade sud, le double vitrage (type 10-10-4 avec argon à faible émissivité) est utilisé afin de profiter au maximum des apports solaires.



façade sud vitrée

Pour la façade nord, le triple vitrage est utilisé car les pertes énergétiques sont importantes et les apports solaires faibles ; il faut donc la meilleure isolation possible.

On retrouve aussi un quadruple vitrage avec l'implantation de deux fenêtres en double vitrage l'une à la suite de l'autre.

Toutes les menuiseries sont en bois de mélèze. Ces fenêtres sont installées dans des cadres flottants, afin de pouvoir encaisser l'éventuel tassement des murs en paille sans être déformées.

## À noter dans la mise en oeuvre

Le système de la pose des menuiseries (portes et fenêtres) se fait avec des cadres flottants (1).

Les cadres préfabriqués en atelier sont en KLH. Ils accueillent donc les menuiseries et sont installés au fur et à mesure de la construction, entre les bottes de paille (2).



## Caractéristiques vitrage

### 1. Valeurs

La performance thermique d'une menuiserie est exprimée en  $U_w$  et la performance d'isolation thermique d'un vitrage est caractérisée par sa valeur  $U_g$ . Plus les valeurs sont basses, meilleure est l'isolation et moins il est nécessaire de chauffer.

Ces deux valeurs sont exprimées en  $W/m^2.K$ . Un vitrage à isolation thermique renforcée a un  $U_g \leq 2 W/m^2.K$ .

Ici, les menuiseries bois ont un coefficient d'isolation  $U_w = 1.5 W/m^2.K$  et le vitrage  $U_g = 1.1 W/m^2.K$ .



double vitrage



triple vitrage

températures		EXT.	INT.	Type de vitrage		
				triple vitrage (NORD)	double vitrage (SUD)	2 x double vitrage (NORD)
				hiver	- 7°C	18°C
été	34°C	23°C	25°C	27,8°C	24°C	

**2. Coût :** le coût d'une fenêtre en triple vitrage est deux fois plus élevée qu'une fenêtre en double vitrage pour une performance plus élevée (pour une fenêtre de même dimension : un double vitrage coûte 220 € HT et un triple vitrage coûte 470 € HT).

**3. Avantages :** ces menuiseries performantes améliorent nettement l'isolation phonique et thermique, car des déperditions importantes (environ 30 % des pertes) se font par les ouvertures dans une habitation.

**4. Limites :** le prix du triple vitrage, le poids d'une ossature bois entièrement vitrée qui est plus lourd qu'un vitrage classique.

# VOLETS

## en liège ou en bois

### SECOND OEUVRE

#### Localisation

Selon l'emplacement et le type d'ouvertures, on retrouve différentes sortes de protection et de volets :

- des volets «bouchons» pour les petites ouvertures situées au nord et au sud
- des volets roulants pour les grandes baies vitrées de la façade sud
- une avancée de toit pour le vitrage du premier étage
- une casquette végétale pour le vitrage rez-de-chaussée

#### Fonction

Les différentes protections vont jouer un rôle selon la saison ou selon le mode jour/nuit.

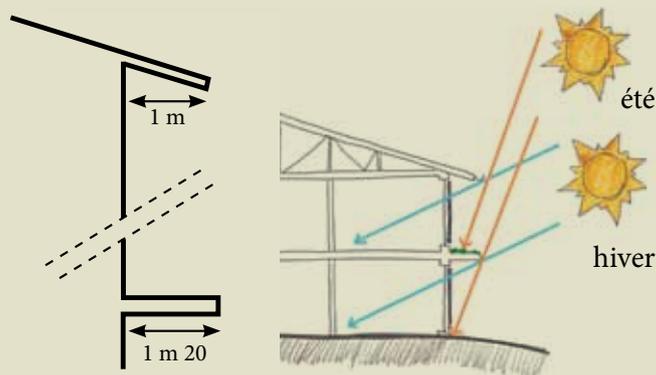
Les jours d'été, l'avancée de toiture et la vigne sur la pergola vont empêcher la surchauffe solaire sans priver des apports solaires en hiver. Les nuits d'hiver, les volets vont isoler les vitres des vents et du froid, ce qui va permettre de conserver une température acceptable dans le bâtiment et réduire les pertes d'énergie.

Les volets, eux-aussi, s'adaptent selon l'orientation. Pour la façade sud, des volets roulants en bois sont installés, avec le caisson à l'extérieur du bâtiment pour éviter d'avoir des ponts thermiques. Pour la façade nord le choix s'est porté sur des volets intérieurs à battant en liège d'une épaisseur de 8 cm. Pour la façade est le volet est extérieur, traditionnel à battant en bois.

« La toiture, un bon chapeau ! »

La longueur du débord de toit varie selon l'orientation.

Au sud, il est de 1 m tandis qu'à l'est, à l'ouest et au nord, il n'est que de 50 cm. Cela est calculé en fonction des angles du soleil au solstice d'été et d'hiver. La trajectoire du soleil change tout au long de l'année.



coupe en façade sud avec les dimensions des protections solaires et les angles des rayons du soleil

En été le soleil se situe sur sa trajectoire la plus haute, l'avancée de toiture et la casquette végétale vont protéger des surchauffes solaires car les rayons du soleil ne vont pas taper directement sur les vitrages.

En hiver, le soleil est plus bas qu'en été, ce qui va permettre de laisser entrer les apports solaires dans le bâtiment pour le chauffer.

## À noter dans la mise en oeuvre

Les coffres des volets de la façade sud se trouvent à l'extérieur (1) pour éviter les ponts thermiques.

Les volets en liège sont eux installés à l'intérieur du bâtiment (2) afin de créer de véritables «bouchons» et limiter les déperditions thermiques.



## Caractéristiques volet bois

1. Valeurs : épaisseur 13 mm.
2. Coût : 12 630 € TTC pour l'ensemble de la fourniture en façade sud soit la protection d'environ 50 m<sup>2</sup> de vitrage.
3. Avantages : pose à l'extérieur donc limite les ponts thermiques, volet roulant de type traditionnel, simple d'utilisation car manoeuvre électrique.
4. Limites : tablier bois en pin d'orégon donc un matériau non local.

## Caractéristiques volet liège

### 1. Valeurs

Epaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance (m <sup>2</sup> .°C/W)
8	0.04	120	2

2. Coût : un petit volet en liège (comme sur la photo 2) coûte 167 € TTC (sauf matériaux), un volet en liège pour une porte coûte 358 € TTC (sauf matériaux), le liège est de 10€/m<sup>2</sup> jusqu'à environ 40 €/m<sup>2</sup> selon l'épaisseur et la densité. Ici le liège en 8 cm d'épaisseur coûte environ 25 €/m<sup>2</sup>.

3. Avantages : matériau écologique, bon isolant thermique, peut servir de support pour accrocher des documents.
4. Limites : le prix du matériau selon l'épaisseur souhaitée.

# ISOLATION DES COMBLES

## ouate de cellulose et laine de mouton

● SECOND OEUVRE

### Localisation

Dans un bâtiment non isolé, il est estimé que 30% de la chaleur s'échappe par les toits.

En isolant les combles, on traite un des principaux postes de déperdition d'énergie du bâtiment.

À l'écocentre, de la laine de mouton brute et de la ouate de cellulose sont disposées sur toute la surface des combles.

### Fonction

La laine de mouton est mise en place telle quelle ce qui permet d'éviter tout traitement, long et contraignant (voir ci-contre). La laine est naturellement protégée contre les insectes grâce au suint (sécrétion de la peau de mouton, une sorte d'huile qui permet d'éloigner les parasites), mais cela n'est pas définitif et avec le temps, il n'y a plus de protection.

Nous avons expérimenté une solution : une technique et un matériau isolant qui protège la laine de mouton.

La ouate de cellulose est issue du recyclage de journaux. Elle est utilisée ici pour apporter une protection supplémentaire contre les parasites à la laine de mouton. En effet lors de sa production, du sel de bore est utilisé pour la rendre ininflammable, résistante aux insectes et aux moisissures.

La laine de mouton revalorisée



La laine possède de très bonnes qualités d'isolation et de régulation (par exemple, elle peut absorber 1/3 de son poids en eau sans perdre ses propriétés isolantes).

La laine de mouton utilisée dans le bâtiment provient d'un berger du canton pratiquant des estives dans les Pyrénées. En l'utilisant comme isolant, on revalorise cette laine de race qui était brûlée «sur place» depuis 15 ans.

Certaines laines subissent un traitement. Elles sont lavées au savon et à la soude pour se débarrasser des odeurs provenant du suint, et sont ensuite traitées avec un insecticide répulsif. Celui-ci peut être d'origine naturelle (mais s'oxyde rapidement et donc vite inefficace) ou synthétique (inoxydable, durable mais toxique). De nombreuses laines sont traitées au sel de bore pour lutter contre le feu et l'invasion des rongeurs et insectes (par exemple mites), mais cela a été récemment interdit en France. Pour utiliser la laine de mouton dans le bâtiment, sans qu'elle subisse un traitement, nous l'avons laissée accessible pour pouvoir si besoin la changer ultérieurement, et nous l'avons couplée à un autre isolant afin de la rendre plus pérenne.

## À noter dans la mise en oeuvre

De manière concrète, du papier kraft armé pare poussière / pare odeur / freine vapeur est posé sur toute la surface des combles. Une première couche de ouate est soufflée à l'aide d'une machine sur une épaisseur de 5 cm.

La laine de mouton est disposée en vrac, posée grossièrement sur 30 cm d'épaisseur, puis une deuxième couche de ouate est soufflée. De cette manière, elle enveloppe totalement la laine de mouton. La mise en oeuvre se fait donc avec de la matière brute et de façon manuelle.



laine de mouton dans les combles

## Caractéristiques laine de mouton

### 1. Valeurs

Epaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance (m <sup>2</sup> .°C/W)
30	0.035	10-30	9.4

2. **Coût** : ce type d'isolation coûte environ 2 € par m<sup>2</sup>. Le rouleau de papier kraft de 75 m<sup>2</sup> coûte 195 €, la laine a été achetée 0.15 € le kg directement chez l'éleveur.

3. **Avantages** : absorption de l'eau, isolation thermique très bonne, conductivité thermique supérieure à la laine de verre. Prix très faible si la laine n'est pas industrielle, produit local, écologique et renouvelable, n'attire pas les rongeurs. Face aux incendies ne s'enflamme qu'à partir d'une température de 560° et n'a pas de dégagements toxiques, le même matériau existe aussi en produit industriel.

4. **Limites** : odeur de brebis lors de la mise en oeuvre pour laine non industrielle et à limiter aux zones accessibles pour assurer une surveillance.

## Caractéristiques ouate de cellulose

### 1. Valeurs

Epaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance (m <sup>2</sup> .°C/W)
30	0.035 à 0.040	en combles perdues 30-40	7.5

2. **Coût** : le sac de 12 kg de ouate de cellulose est compris entre 15 et 18 €.

3. **Avantages** : bonne performance technique et acoustique, issue de papier recyclé, classement par rapport au feu M1 (non inflammable), anti-termite et anti-rongeurs.

4. **Limites** : recyclage limité dû à l'utilisation de sel de bore lors de la fabrication. Depuis l'interdiction du sel de bore, les fabricants ont remplacé le sel de bore par le phosphate d'ammonium.

# ENDUITS TERRE

## les trois couches

### SECOND OEUVRE

### Localisation

Les enduits sont faits à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment sur tous les murs en paille porteuse, qu'ils soient à l'est, à l'ouest ou au nord.

### Fonction

Le revêtement choisi pour les murs est la terre. Ce matériau naturel sans ciment, ni chaux, laisse respirer le mur. Cet enduit absorbe l'humidité de l'air et la restitue lorsque l'air est plus sec.

Quand l'enduit terre est recouvert d'un enduit de finition à la chaux aérienne en pâte, il permet un revêtement extérieur. Il permet aussi de protéger les murs en paille des intempéries. C'est un enduit qui est imperméable à l'eau de pluie mais perméable aux vapeurs d'eau pour laisser respirer le mur.

Enfin, l'épaisseur finale de cet enduit (de 3 à 10 cm par endroit) apporte également de l'inertie.

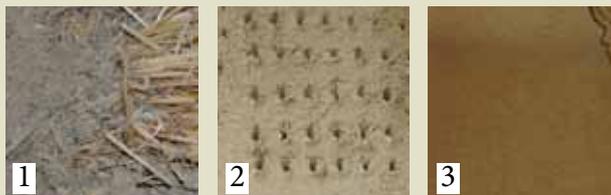
Trois couches se succèdent et ont un rôle différent :

1/ le gobetis : c'est une couche d'accroche fluide, très liquide, qui a pour rôle d'assurer la liaison entre le corps d'enduit et le mur en paille.

2/ la couche de corps : c'est la couche la plus épaisse de l'enduit, elle permet de rattraper les défauts de planéité. Pour l'écocentre une à deux passes ont été nécessaires par endroit.

3/ l'enduit de finition : c'est l'enveloppe finale du mur.

Trois couches aux mélanges et aspects distincts



Préparations des trois couches de l'enduit :

1/ le gobetis

- argile et sable
- beaucoup d'eau

2/ la couche de corps

- 1 volume de terre argileuse
- 1 à 1.5 volumes de sable
- 1/2 volume de paille finement hachée (2 à 6 mm)

3/ l'enduit de finition intérieur

- 1 volume de terre argileuse
- 2.5 volumes de sable
- 3/4 volume de paille finement hachée (2 à 6 mm)

La terre devra contenir un mélange d'environ 15 à 25% d'argile pour permettre à celle-ci d'être un bon enduit. S'il y a trop d'argile, l'enduit va craqueler et s'il n'y en a pas assez, il s'effritera. Ces recettes ne sont donc pas généralistes et doivent être adaptées au cas par cas.

3 bis/ l'enduit de finition extérieur

- chaux aérienne en pâte artisanale
- sable
- eau

## À noter dans la mise en oeuvre

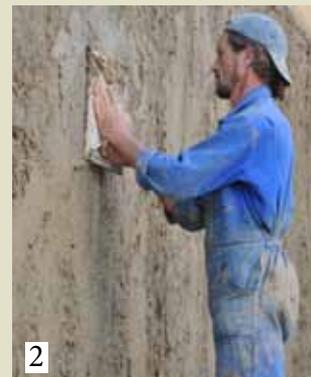
La réalisation des enduits se fait par étapes. Entre chaque couches il y a un temps de séchage à respecter, qui va être plus ou moins long en fonction de la saison.

1/ le gobetis est projeté à la machine sur le mur en paille afin d'obtenir une base apte à recevoir le futur enduit.

2/ la couche de corps est projetée à la machine sur le mur, puis talochée. Sur les façades extérieures le corps d'enduit est piqué afin de faciliter l'accroche de l'enduit de finition.

3/ l'enduit de finition intérieur est projeté à l'aide de la machine sur la couche de corps. L'aspect final de l'enduit est obtenu par un lissage effectué à la taloche éponge mécanique.

3 bis/ l'enduit de finition extérieur se pose sur la couche de corps piquée. Puis l'enduit de finition est projeté à l'aide de la machine. L'aspect final de l'enduit est obtenu par un lissage effectué à la brosse à badigeon.



## Caractéristiques enduits

La chaux aérienne utilisée pour ces enduits est une chaux éteinte par immersion qui est un produit de fabrication traditionnelle. Cette fabrication consiste à immerger la chaux calcinée dans de grands volumes d'eau dans lesquels s'effectuera la terminaison. Avec ce procédé on obtient de la chaux sous forme de pâte, qui est connue pour ses qualités supérieures à la chaux en poudre.

2. **Coût** : le prix total des travaux d'enduits, réalisés par l'entreprise qui a monté les murs en bottes de paille est de 42745 €.

3. **Avantages de l'enduit à la terre** : protection des murs, 100% naturel et recyclable, facile à travailler et reprendre (simple ajout d'eau), produit local à très faible énergie grise, existe en différentes couleurs (selon l'argile utilisée).

**Avantages de l'enduit à la chaux** : protection des murs extérieurs aux intempéries, perméable à la vapeur d'eau, 100 % naturel.

4. **Limites de l'enduit à la terre** : requiert un savoir faire, au moins pour les premières fois, demande une bonne coordination de chantier notamment à cause du temps de séchage qui est long.

**Limites de l'enduit à la chaux** : protection nécessaire lors de sa mise en oeuvre d'où l'utilisation de gants, lunettes...

# ISOLATION PHONIQUE DU PLANCHER

## avec du sable et un parquet flottant

### SECOND OEUVRE

### Localisation

Une couche de sable est appliquée sur toute la surface du plancher, entre les lambourdes et le revêtement du plancher. Une bande résiliente est installée entre la volige et les lambourdes.

### Fonction

Il existe deux sortes de « nuisances sonores » dans un bâtiment :

- les bruits aériens, qui correspondent aux bruits transmis par l'air (voix, musique ...)
- les bruits solidiens ou d'impact, qui correspondent aux bruits provoqués par un choc (bruits de pas, déplacement d'objets, claquement de portes).

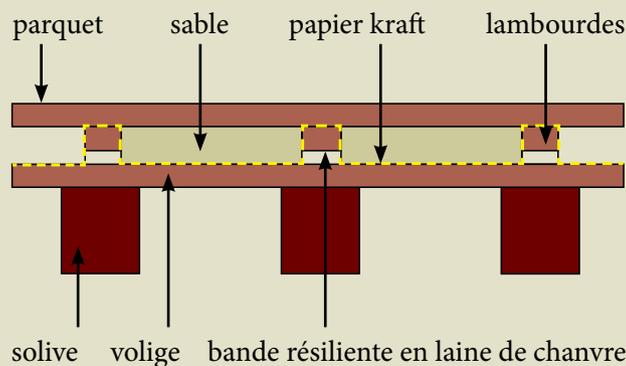
Dans le cas de ce plancher, l'isolation phonique est utilisée contre les bruits solidiens et aériens. La couche de sable va permettre de diminuer les bruits aériens. La laine de chanvre va diminuer les bruits solidiens.



### Une technique astucieuse

Sur la volige, on dispose les lambourdes flottantes (non clouées) sous lesquelles il y a une bande résiliente en laine de chanvre de 2 cm d'épaisseur qui effectue une rupture phonique.

On recouvre le tout avec du papier kraft qui sert de pare-poussière avant de déposer un lit de sable de 3-4 cm, puis le nouveau plancher est cloué sur les lambourdes.



Cette technique a l'avantage d'apporter une bonne isolation phonique. Ce sable étant moins cher qu'un isolant phonique classique, on amène également un peu d'inertie avec ce matériau naturel.

En revanche, le poids du sable est à ne pas négliger dans le dimensionnement de la structure : il est de 1700 kg au m<sup>3</sup> (environ 9 tonnes au total).

# CLOISONS EN TERRE CRUE

## murs courbes en adobes

### SECOND OEUVRE

#### Localisation

Deux murs courbes en adobes sont construits à l'intérieur du bâtiment, dans le hall d'entrée.

#### Fonction/Caractéristiques

La terre crue régule la température, grâce à son inertie thermique, ainsi que l'humidité et l'assainissement de l'air. Elle est aussi un bon isolant phonique, sans oublier son aspect esthétique.

Ici, les rangées de brique sont disposées à l'aide d'un guide afin d'obtenir cette forme légèrement incurvée. Les briques peuvent être mouillées avant leurs mises en œuvre afin d'avoir une meilleure cohésion au mortier.

Le prix de la construction d'un mur en adobe de 9 m<sup>2</sup> fait par une entreprise est d'environ 3900 €. Ce prix comprend surtout la main d'œuvre car le matériau est gratuit.

La terre est un matériau 100 % recyclable, présent sur place, non toxique et qui consomme très peu d'énergie pour sa fabrication.



#### Une technique ancestrale

L'adobe est une technique qui consiste à mouler de la terre crue. Ces «briques», une fois sèches représentent un des premiers matériaux de construction.

En Mésopotamie on retrouve des structures en adobe datant de 10 000 ans avant J-C. Il y a aussi de grands édifices qui ont utilisé cette technique tels La Grande Mosquée de Djenné au Mali, qui est le plus grand édifice au Monde construit en adobes.



moules et adobes

La mise en œuvre est simple. C'est un mélange d'argile, d'eau et éventuellement d'autres éléments comme de la paille. Les briques d'adobe sont généralement coulées dans un cadre en bois ouvert. Le moule est retiré et la brique est mise à sécher de chaque côté. Lors du séchage, les briques peuvent être placées à l'ombre pour éviter l'apparition de fissures.

Un mortier de terre sert à assembler les briques entre elles et le mur se monte selon les règles de la maçonnerie traditionnelle.

# CLOISONS INTÉRIEURES SÈCHES

## en ouate de cellulose

### SECOND OEUVRE

### Localisation

Les cloisons sèches sont les cloisons que l'on trouve à l'intérieur du bâtiment.

### Fonction

Les cloisons permettent de séparer les différentes pièces. Elles assurent également une isolation phonique et thermique de par leur composition.

En effet, chaque matériau a sa fonction propre :

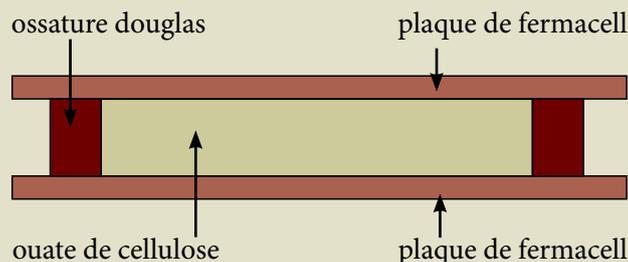
- l'ossature des cloisons est en douglas
- les plaques de fermacell assurent quant à elles le contreventement et le parement de la cloison
- la ouate de cellulose représente l'isolant.

La ouate de cellulose est un isolant qui s'adapte efficacement à tous les besoins d'isolation dans la maison (plafonds, parois, murs). Elle peut être mise en place selon plusieurs techniques : épandage manuel, projection, soufflage...

Dans les cloisons de l'écocentre, la ouate de cellulose est un remplissage et elle a été mise en place par soufflage.

Ce procédé garantit un remplissage complet et homogène des cloisons excluant tout pont thermique.

Une composition simple et isolante



- du douglas

C'est un bois connu pour ses différentes propriétés mécaniques ainsi que pour sa bonne résistance naturelle aux champignons, capricornes, vrillettes. Ce bois permet de se passer de traitement chimique et nocif, ce qui donne une garantie d'habitation saine.

- des plaques de fermacell

Elles sont 100% naturelles, composées de gypse (roche sédimentaire dont on tire le plâtre) et renforcé par de la fibre de cellulose (issue de papier recyclé), sans aucun adjuvant chimique. Comme les autres plaques de plâtre, elles sont résistantes au feu et leur porosité leur permet d'être d'excellents régulateurs de la vapeur d'eau. Grâce à leurs compositions, les plaques Fermacell sont extrêmement rigides et résistantes aux chocs.

- de la ouate de cellulose

C'est un matériau écologique isolant issu du recyclage de journaux.

## À noter dans la mise en oeuvre

On monte en premier les montants en douglas (section 6 x 4 cm) avec un entraxe de 60 cm. Ensuite on fixe les plaques de fermacell. Une fois les cloisons montées, un trou est percé pour laisser passer la tête de la machine qui va insuffler la ouate de cellulose en vrac entre les deux pans des cloisons.

Les joints sont traités par bande de plâtre sur les plaques à bords amincis ou par collage sur les autres types de plaques. Pour l'instant la colle utilisée comporte une base de formaldéhyde toxique pour la santé. En attendant une nouvelle colle écologique, il est conseillé d'utiliser les plaques à bords amincis.



la machine à insuffler la ouate de cellulose : une partie fixe et une partie amovible, un tuyau souple qui permet de parcourir tout le bâtiment et remplir les différentes cloisons.

## Caractéristiques fermacell

### 1. Valeurs

Épaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance (m <sup>2</sup> .°C/W)
1.8	0.036-0.32	1000-1250	13

2. **Coût** : 6,3 €/m<sup>2</sup> (plaque standard à environ 19 €). Une cloison sèche (uniquement les matériaux) coûte environ 25 €/m<sup>2</sup>.

3. **Avantages** : composition 100% naturelle, bon isolant phonique et thermique, résistant aux chocs et aux charges, classement par rapport au feu M0 (matériau incombustible).

4. **Limites** : le prix plus élevé que le placo-plâtre classique (environ 2 à 4 €/m<sup>2</sup>), matériau lourd (une plaque pèse environ 45kg), difficile à manier et à couper.

## Caractéristiques ouate de cellulose

### 1. Valeurs

Épaisseur (cm)	Conductivité thermique (W/m.°C)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Résistance (m <sup>2</sup> .°C/W)
6	0.035 à 0.040	en cloisons 45-55	1.7

2. **Coût** : le sac de 12 kg de ouate de cellulose est compris entre 15 et 18 €. Un coût environ de 100€/m<sup>3</sup>.

3. **Avantages** : bonne performance thermique et acoustique, issue de papier recyclé, classement par rapport au feu M1 (non inflammable), anti-termite et anti-rongeurs.

4. **Limites** : nécessité de se protéger lors de la mise en oeuvre (masque) à cause de la production de poussière.

# REVÊTEMENTS INTÉRIEURS

## peinture à la caséine et tadelakt

● SECOND OEUVRE

### Localisation

On retrouve les peintures à base de caséine sur toutes les cloisons en Fermacell qui se trouvent au rez-de-chaussée et à l'étage.

Le Tadelakt, lui, se situe sur le mur de la cuisine au dessus de l'évier et sur un mur des toilettes, celui de l'urinoir.

### Fonction

Les maisons sont des lieux où nous passons beaucoup de temps et il est important de choisir des produits sains pour protéger sa santé et éviter les composés organiques volatiles (COV).

Les COV sont des polluants, certains d'entre eux sont même considérés comme cancérigènes pour l'homme. Les émissions de COV sont essentiellement dues à la combustion et à l'utilisation de solvants, parfums, colles, peintures ... et proviennent donc de sources très nombreuses.

La peinture à la caséine ainsi que le tadelakt sont des finitions, des revêtements intérieurs, faits à partir de produits naturels.

Le tadelakt a bien entendu un aspect décoratif mais sa principale fonction reste la possibilité d'un nettoyage facile d'un coup d'éponge. Il a bien la même utilité que le carrelage.

Des produits naturels  
pour un intérieur sain et esthétique

La caséine est une protéine issue du lait. Il s'agit donc d'une peinture naturelle, sans solvant ni COV. La caséine se trouve généralement sous forme de poudre blanche, à laquelle on ajoute de l'eau et des pigments pour la teinte.



différentes teintes de tadelakt

Le tadelakt, lui, est un enduit à base de chaux, de poudre de marbre et de pigments. Il est brillant, imperméable et très lisse.

Grâce à sa très bonne résistance à l'eau et à l'humidité, il peut être appliqué au sol et dans des lieux où il y a un fort taux d'humidité (hammams, salles de bains, cuisines). Il peut être utilisé aussi bien en intérieur qu'en extérieur. Il a la particularité d'être « ferré » avec un galet de rivière et d'être traité au savon noir pour acquérir son aspect définitif, doux et fin. Les ondulations dues au travail du galet lui confère de grandes capacités décoratives.

## Recette peinture à la caséine

Dans un premier temps il est important de bien préparer la surface que l'on va peindre, elle doit être propre, sèche et homogène. Une fois le mélange prêt (caséine, eau et pigments) il s'applique comme toutes les autres peintures, au pinceau et au rouleau. Pendant l'emploi, la peinture semble transparente. Son pouvoir couvrant apparaît au séchage. Le nettoyage des outils se fait à l'eau savonneuse.

**1 et 2. Valeurs et coût :** un sac de caséine de 25 kg coûte environ 110€. Rendement : 145 g/m<sup>2</sup> pour un support peu absorbant et 200 g/m<sup>2</sup> pour un support très absorbant.

**3. Avantages :** peinture naturelle, sans odeur, laisse respirer le support qu'elle couvre, application possible sur de nombreux matériaux, très bon pouvoir couvrant.

**4. Limites :** certains supports imperméables, vieille laque, etc... nécessitent un lavage fréquent.



peinture à la caséine



tadelakt cuisine

## Recette tadelakt (prêt à l'emploi)

Il est indispensable de bien préparer le support en vérifiant qu'il ne comporte ni trous, ni fissures et qu'il soit propre. Les murs en enduit terre sont relativement lisses, une couche d'accroche (mélange de chaux et de sable) rugueuse et irrégulière est nécessaire pour qu'il y ait une bonne prise du tadelakt. On verse la poudre de tadelakt dans de l'eau froide (1kg de poudre pour 0,37 litre d'eau) et on mélange le tout à l'aide d'un mélangeur. On laisse reposer pendant 30 minutes avant de mélanger à nouveau.

Avant d'appliquer la première couche, mouiller le support pour éviter qu'il absorbe l'eau contenue dans le mélange. La première couche constitue la couche d'accroche qui est appliquée fortement avec la truelle de maçon afin qu'elle adhère bien au support. On le laisse tirer avant d'appliquer la seconde couche. La deuxième couche, d'une épaisseur de 3 à 6 mm, constitue la couche de finition. Une fois appliquée, on taloché le mur avec des mouvements circulaires ce qui permet d'aplanir la surface et de faire remonter l'eau contenue dans la chaux. Ensuite, il faut serrer l'enduit à l'aide d'une truelle puis avec un galet qui permet de faire le serrage avec de petits mouvements circulaires et par petites zones. Après avoir laissé sécher une journée, il faut effectuer le lustrage au savon noir (dissoudre une noisette de savon noir dans de l'eau). Ce mélange, une fois homogène, est appliqué au pinceau et on peut le faire pénétrer à l'aide du galet. Le Tadelakt atteindra sa dureté définitive au bout de 5 semaines environ et il ne nécessite pas d'entretien particulier. Une éponge humide avec de l'eau tiède savonneuse (savon noir) suffira. Attention, le tadelakt étant une matière naturelle, il ne faut jamais utiliser de détergents ni d'abrasif.

**1 et 2. Valeurs et coût :** un sac de tadelakt de 2,5 kg coûte environ 20 €. Rendement : 2,5 kg/m<sup>2</sup>.

**3. Avantages :** enduit naturel, bonne résistance dans le temps et bonne résistance à l'humidité et à l'eau.

**4. Limites :** requiert un certain savoir faire.



# PARTIE 3 / ÉQUIPEMENTS

---



Les équipements sont les systèmes additifs au bâtiment qui lui permettent de fonctionner correctement. Les différents systèmes présents assurent au bâtiment une autonomie en énergie, en chauffage, en eau...

Les 7 fiches techniques suivantes expliquent l'intérêt et le fonctionnement de ces systèmes (assainissement par filtres plantés, panneaux solaires thermiques...) ainsi que leurs caractéristiques techniques.

Mini éolienne : production d'électricité	55
Panneaux photovoltaïques : production d'électricité	57
Solaire thermique et poêle à granulés : production de chauffage	59
Ventilation mécanique contrôlée : ventilation double flux	61
Épuration des eaux usées par filtres plantés	63
Récupérateur d'eau de pluie pour un usage domestique	65
Toilettes sèches à compost pour un système d'assainissement écologique	67

# MINI ÉOLIENNE

## production d'électricité

## ÉQUIPEMENTS

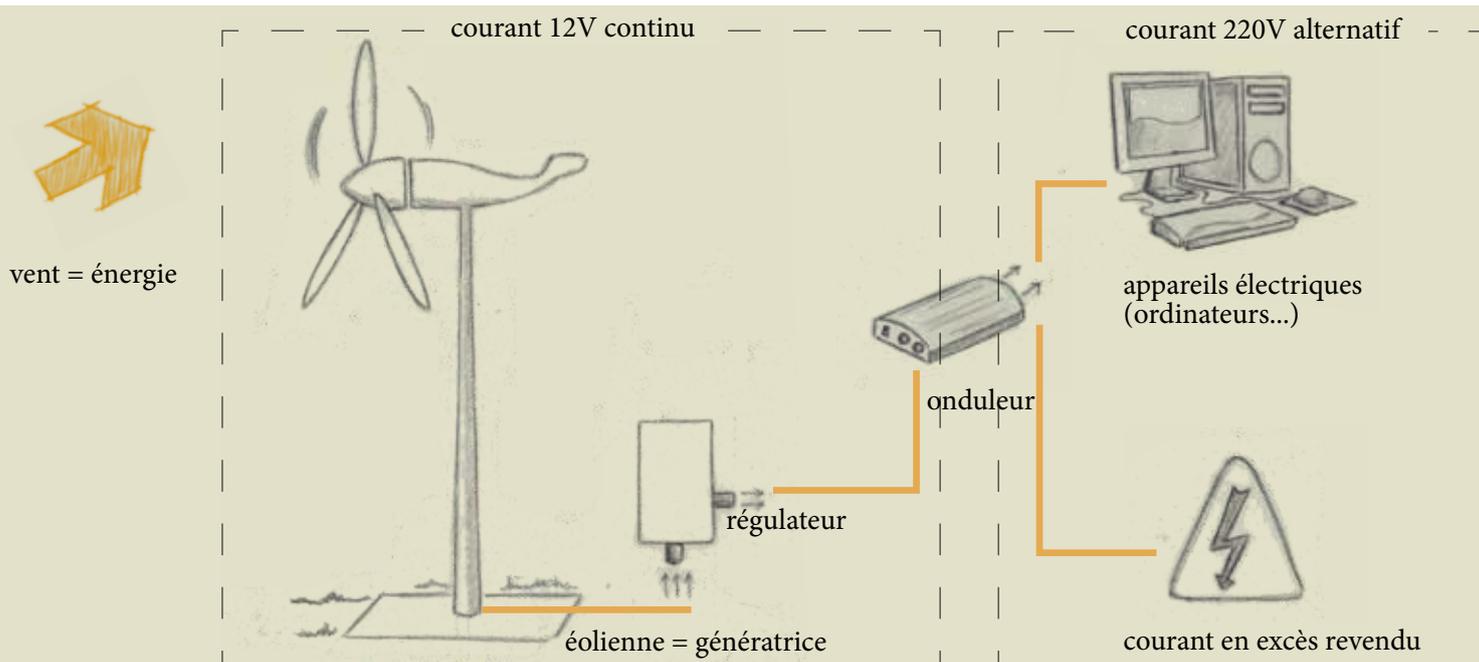
### Définition

L'éolienne installée ici est d'une puissance de 3 kWc (kilowatt crête) et est installée à l'entrée du site, bien visible de la route.

On trouve deux types d'éoliennes : à axe vertical ou à axe horizontal. Pour une question de meilleur rendement, le choix s'est arrêté sur une éolienne à axe horizontal.

Le but d'une éolienne est de transformer l'énergie cinétique produite par le vent en énergie mécanique de translation dans le but de produire de l'électricité. L'éolienne utilise l'énergie cinétique du vent captée grâce à ses pales, qui est transmise au rotor puis à une génératrice (moteur électrique) qui la transforme en électricité. Cette électricité est ensuite traitée par un onduleur pour l'adapter aux normes du réseau EDF ou de son appareillage.

### Fonctionnement



Silencieuse, son mât basculant mesure moins de 12 mètres et n'a pas nécessité de permis de construire.

En un an, elle couvre l'équivalent des besoins d'une famille de 4 personnes en électricité (hors chauffage).

Pour l'écocentre, sa production couplée à la production des panneaux photovoltaïques permet de couvrir la totalité de la consommation du bâtiment.

Elle est raccordée au bâtiment par un câble enterré. Grâce à un onduleur, qui transforme le courant 12 volt continu en 220 volt alternatif, l'électricité produite est directement utilisée pour les équipements du bâtiment, celle en excès, est revendue.

## Mise en oeuvre

1/ avant d'installer l'éolienne, un socle est construit avec du béton armé. Il assure l'ancrage du mât au sol. La gaine (tube rouge) sort au centre du mât et relie le bâtiment à l'éolienne.

2/ installation à l'aide d'une grue. Dans le cas d'un mât basculant, l'auto-installation est possible à l'aide d'un tire-fort. L'éolienne est hissée et installée sur le pied.

## Caractéristiques

1. **Prix** : 18 885 € TTC

2. **Avantages** : production d'une énergie « propre », faible emprise au sol et la quasi totalité de l'éolienne est recyclable en fin de vie.

3. **Limites** : coût important, tributaire des vents qui ne sont pas toujours présents et constants, tarif de rachat faible et donc non avantageux



# PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

## production d'électricité

## ÉQUIPEMENTS

### Définition

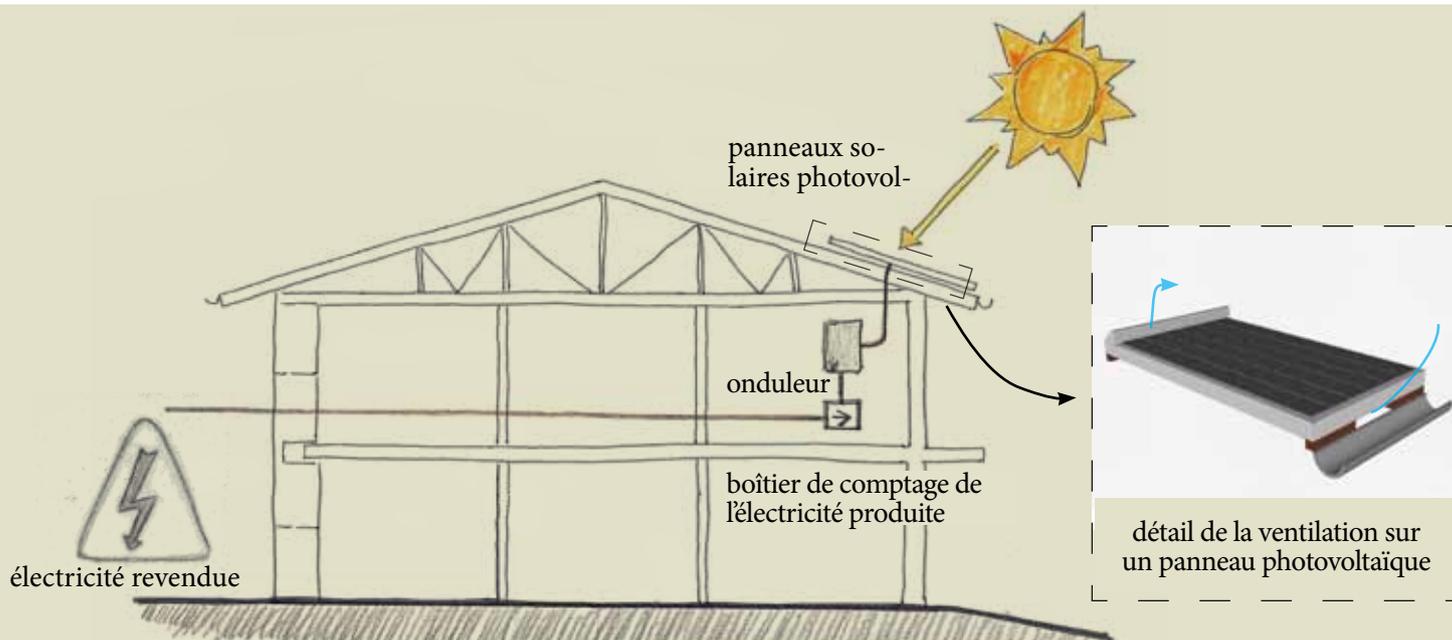
Les modules photovoltaïques transforment le rayonnement solaire en électricité.

Les consommations en électricité sont un poste de dépense non négligeable dans une habitation ou un bâtiment. Même si les bâtiments bioclimatiques sont conçus de manière à ne pas avoir besoin de beaucoup d'énergie, on peut installer des panneaux solaires photovoltaïques dimensionnés selon les besoins des utilisateurs, l'orientation du bâtiment, sa localisation...

Que faire de l'énergie produite ? Il y a trois solutions.

- le couplage direct : l'énergie électrique produite est consommée directement par l'utilisateur au fil de la production.
- le stockage d'énergie : l'énergie électrique produite est stockée sous forme chimique (batteries), sous forme cinétique (stockage inertiel) sous forme potentielle (réserve hydraulique, pneumatique,...).
- la vente d'énergie : l'énergie électrique produite est injectée sur le réseau EDF. Un contrat est établi pour garantir la vente du producteur à EDF à des tarifs avantageux. C'est le fonctionnement de l'écocentre.

### Fonctionnement



L'installation, qui se trouve sur la toiture du bâtiment, a une puissance de 3kWc. En un an, elle couvre l'équivalent des besoins d'une famille de 4 personnes en électricité (hors chauffage).

Pour l'écocentre, sa production couplée à la production de l'éolienne permet de couvrir la totalité de la consommation du bâtiment.

Ici, 24 panneaux assemblés en série sont intégrés en toiture (soit 34 m<sup>2</sup> orientés au sud) et raccordés au réseau. Les cellules à haut rendement, ont été produites et assemblées en France. Les panneaux sont équipés d'une grille de ventilation et sont montés avec un vide nécessaire de 2.5 cm au dessus de la couverture pour éviter les pertes de rendement dues aux surchauffes. Le rendement d'une installation dépend de son orientation (plein sud) et de son inclinaison (30°). Ici il serait qualifié de correct.

## Mise en oeuvre

1/ les panneaux arrivent emballés un par un. Ici un panneau avec les différentes cellules.

2/ les panneaux sont installés en toiture sur des tasseaux en bois afin de laisser un vide nécessaire à la ventilation. et cela leur permet d'être intégrés.

## Caractéristiques

1. **Prix** : 16 840 € TTC

2. **Avantages** : tarif de rachat intéressant par EDF mais dégressif, rentabilité de l'installation environ 16 ans, les panneaux s'intègrent partout (mur, toiture, jardin...).

3. **Limites** : prix assez élevé (environ 940 € de matériel et 130 € de pose pour 1 m<sup>2</sup> sans aide financière), traitement des déchets mal connu.



# SOLAIRE THERMIQUE ET POÊLE À GRANULÉS

## production de chauffage

### ÉQUIPEMENTS

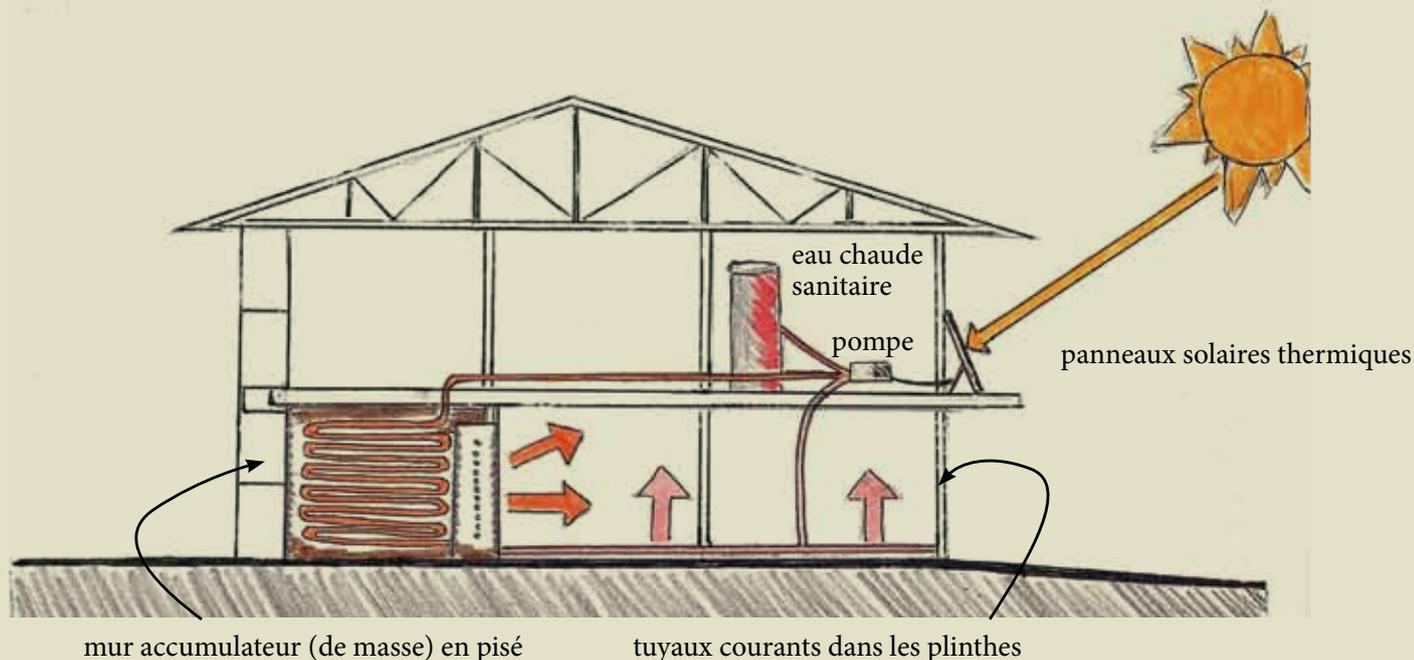
#### Définition

Le solaire thermique permet de transformer l'irradiation solaire en chaleur via un capteur.

Le chauffage du bâtiment est assuré en priorité par le soleil, source d'énergie renouvelable. Il va permettre une quasi-autonomie du bâtiment en terme de chauffage grâce à une conception bioclimatique, vitrée au sud, et aux panneaux solaires thermiques qui chauffent de l'eau qui circule dans un mur accumulateur en pisé.

Les bâtiments bioclimatiques sont conçus de manière à ne pas avoir besoin de beaucoup d'énergie que ce soit pour le chauffage, l'éclairage, etc. Les faibles besoins de chauffage d'un bâtiment bioclimatique font qu'un chauffage dit «d'appoint» suffit à satisfaire les besoins énergétiques du bâtiment. Exceptionnellement, un poêle à granulés sert de chauffage d'appoint dans le bâtiment.

#### Fonctionnement



La façade sud vitrée permet d'obtenir une température agréable dans le bâtiment (apports solaires passifs).

Ici, cinq capteurs plans vitrés de 2 m<sup>2</sup> sont utilisés en orientation sud et inclinaison 62° pour un Système Solaire Combiné (eau chaude et chauffage). 62° correspond à l'inclinaison optimale pour le soleil d'hiver donc le chauffage.

Le liquide chaud que contiennent les capteurs circule dans le mur accumulateur en pisé et les tuyaux courants dans les plinthes complétant ainsi les besoins en chauffage par une diffusion lente de la chaleur.

Pour «lisser» la température lors des jours d'hiver sans soleil, un ballon de 150 litres, alimenté en alternance par une régulation, couvre les besoins d'eau chaude sanitaire.

En effet, lors de la construction du mur en pisé, des tuyaux de P.E.R bi-couche ont été placés au centre du mur à chaque couche soit tous les 12 cm afin de créer un circuit sur toute la hauteur du mur. Ces tuyaux sont reliés en direct aux panneaux solaires thermiques.

Le poêle à granulés a un très bon rendement et consomme des granulés issus de la valorisation des déchets de bois (comme la sciure ou les copeaux...). Il a été choisi avec une estimation d'un besoin de 8 à 10 jours par an de chauffage supplémentaire.

Le poêle a un réservoir contenant 18 kg de granulés, il est relié au foyer par une vis sans fin qui alimente le feu en granulés. L'allumage s'effectue automatiquement grâce à l'action d'une résistance électrique. L'air est apporté dans le foyer grâce à un ventilateur qui a aussi pour fonction d'expulser les fumées par l'arrière du poêle. Un second ventilateur fait circuler l'air dans la chambre de combustion où il est chauffé, avant de ressortir du poêle pour chauffer la pièce.

## Mise en oeuvre

1/ les panneaux solaires thermiques sont installés à l'horizontale sur des châssis à 45° sur la toiture végétalisée.

## Caractéristiques panneaux solaires thermiques

1. **Prix** : 11 740 € TTC

2. **Avantages** : aide financière : énergie renouvelable et frais de maintenance faibles, rendement élevé de 78 %

3. **Limites** : production variable en fonction du temps

## Caractéristiques poêle à granulés

1. **Prix** : 2700 € TTC et 200 à 650 € la tonne de granulés

2. **Avantages** : aide financière : crédit d'impôt de 50 % sur le coût du matériel, système autonome et automatique, alimentation en granulé par vis sans fin, assez bon rendement, combustion des granulés peu polluante, ce type de poêle ne nécessite pas de cheminée.

3. **Limites** : prix, nécessite une alimentation électrique, bruyant, combustible encore cher.



# VENTILATION MÉCANIQUE CONTRÔLÉE

## ventilation double flux

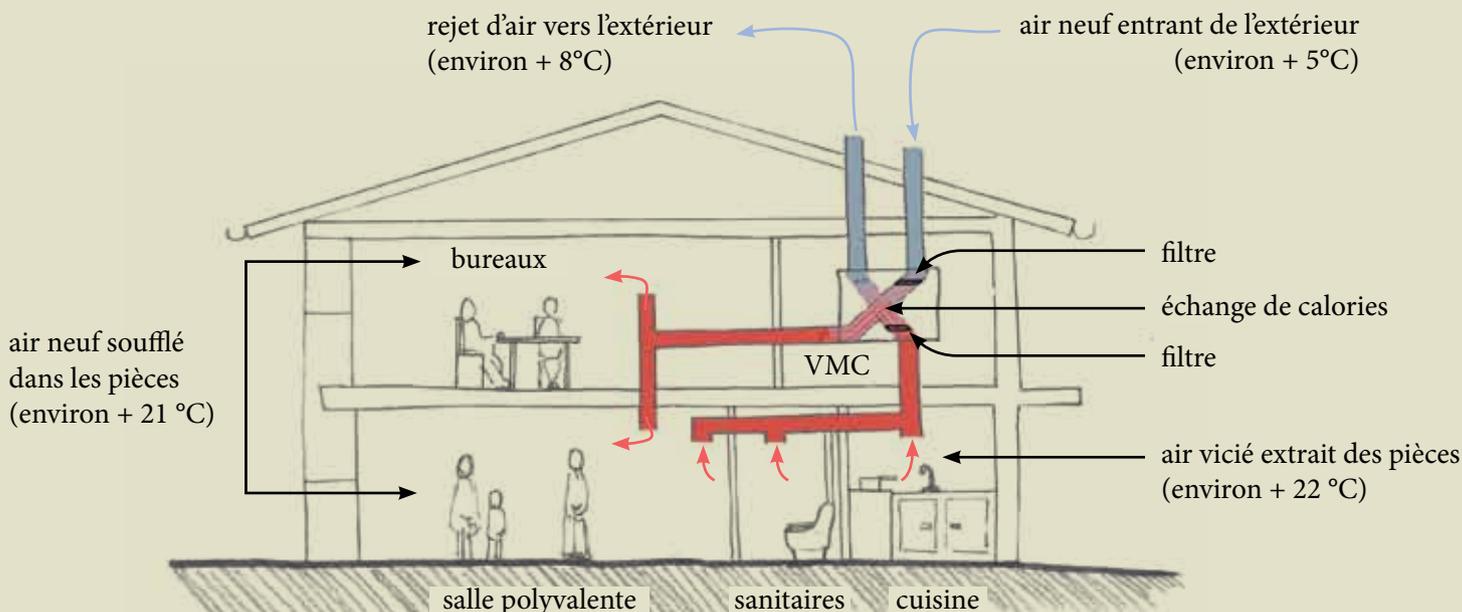
### ÉQUIPEMENTS

#### Définition

La ventilation sert au traitement de la qualité de l'air dans un bâtiment. Elle permet d'introduire de l'air neuf et de pourvoir à nos besoins en oxygène, d'éliminer les odeurs et les polluants qui s'y accumulent ainsi que l'excès d'humidité (risque de moisissures, condensation...) et enfin de fournir l'oxygène nécessaire aux appareils à combustion. Les nombreux polluants, tels que les composés organiques volatiles (COV) ou encore le  $\text{CO}^2$ , sont émis soit par les occupants de la maison soit par les matériaux utilisés ou l'ameublement choisi. Ils doivent être évacués pour la santé des habitants et pour la conservation du bâtiment. La ventilation d'un bâtiment peut se faire naturellement en utilisant les imperfections d'étanchéité de l'enveloppe ou mécaniquement à l'aide de systèmes qui vont forcer la ventilation.

Ici, une ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux a été installée dans le local technique de l'étage. Elle fonctionne pour l'ensemble du bâtiment. Sachant que les pertes liées à la ventilation représentent 25 % des pertes globales d'une habitation, l'utilisation d'une VMC double flux permet d'économiser 85 % de ces 25 %. Le fonctionnement de l'écocentre, à travers le choix de ses matériaux respirant et régulateurs de la vapeur d'eau, des odeurs..., pourrait se passer de VMC. Mais son installation est nécessaire lors de l'accueil de nombreux visiteurs simultanément. Les habitations ou bâtiments «modernes» étanches à l'air et construits avec des matériaux étanches à la vapeur d'eau rendent, eux, obligatoire ce type d'équipement.

#### Fonctionnement



La ventilation mécanique contrôlée est un système qui comprend un groupe de ventilation (= un aspirateur), des bouches d'extraction dans les pièces humides et polluées et des bouches d'introduction dans les pièces de vie. Le principe consiste alors à préchauffer l'air entrant dans le bâtiment.

Pour cela l'air vicié qui est extrait de la maison (issu des salles de bain, cuisine...) va réchauffer l'air extérieur entrant en passant à travers une plaque appelée échangeur.

La VMC double flux est composée d'un ventilateur de soufflage, d'un ventilateur d'extraction et de filtres pour l'air entrant.

Il existe deux autres types de ventilation mécanique contrôlée : la ventilation simple flux autoréglable et la ventilation simple flux hygroréglable A ou B.

## Mise en oeuvre

1/ le boîtier de la VMC se trouve dans la chaufferie. De là partent toutes les gaines d'aspiration et d'extraction de l'air du bâtiment.

2/ installation des colliers au premier étage qui vont tenir les gaines de ventilation. Elles sont situées à 50 cm du sol.

3/ gaines installées et qui restent apparentes.

## Caractéristiques VMC double flux

**1. Prix :** Le coût de cette installation est compris entre 3000 et 4000 €. C'est le système de ventilation le plus coûteux.

**2. Avantages :** rentable à long terme, pas de sensation de courant d'air frais, économie d'énergie grâce au préchauffage de l'air.

**3. Limites :** prix élevé, entretien régulier pour éviter l'introduction d'un air malsain, passage des gaines à isoler.



# ÉPURATION DES EAUX USÉES

## par filtres plantés

### ÉQUIPEMENTS

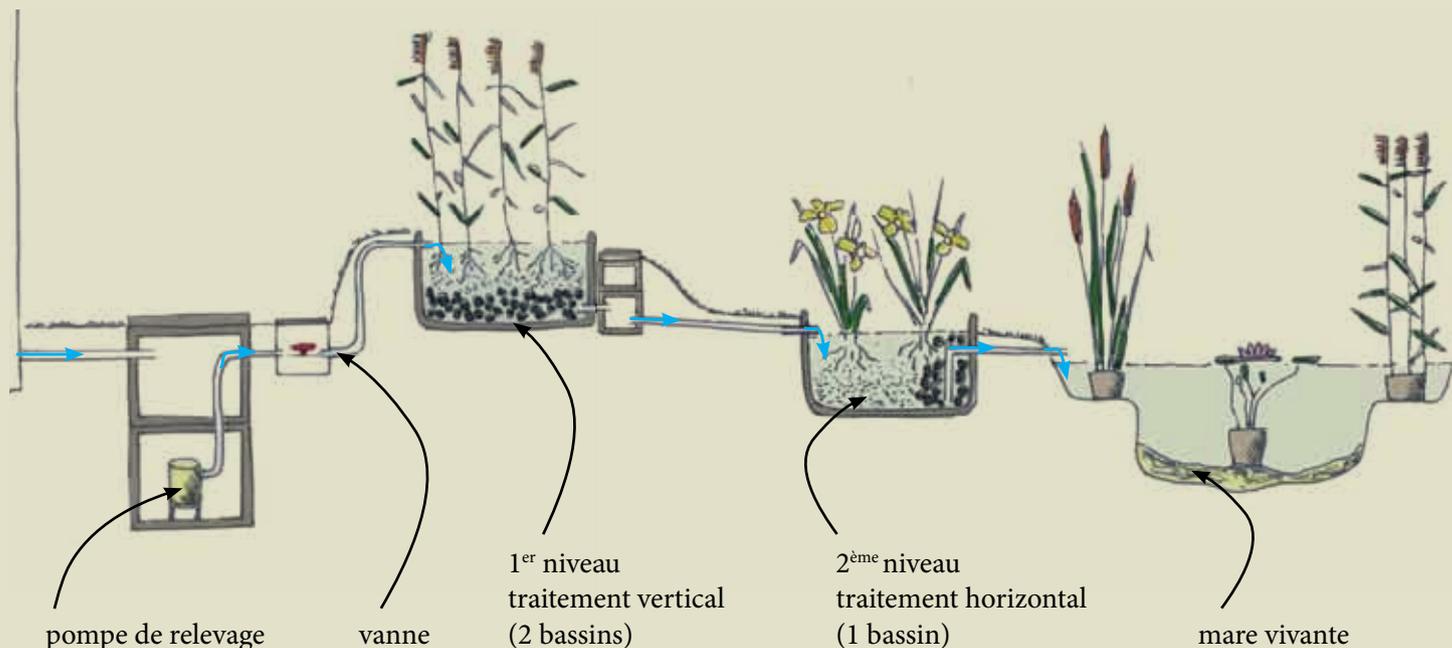
### Définition

L'assainissement par filtres plantés représente une alternative écologique, durable et esthétique aux Assainissements Non Collectifs (ANC) Conventionnels.

Dans une rivière, les pollutions faibles et ponctuelles sont épurées par les différentes composantes du milieu naturel. On parle de pouvoir d'autoépuration du cours d'eau. Des micro-organismes associés à des végétaux utilisent et transforment les substances indésirables. Le sol joue un rôle de filtre. C'est ce système qu'on reproduit artificiellement en associant les éléments suivants (voir schéma ci-dessous). Le dimensionnement du système dépend de plusieurs paramètres : le nombre de personnes vivant dans l'habitation, les pratiques c'est-à-dire le type de toilettes, les produits utilisés pour l'entretien, la santé...

La système d'assainissement installé à l'écocentre est dimensionné pour une famille de quatre personnes ayant une réflexion sur leurs pratiques comme l'emploi de produits écologiques et des toilettes sèches, qui réduisent très fortement les quantités d'eau et la charge polluante à épurer. Il est situé à l'angle nord-est du bâtiment, proche de la matériauthèque.

### Fonctionnement



Ici, seules les eaux grises (eaux peu ou moins polluées résultant du lavage de la vaisselle, des mains et des bains ou des douches pour une habitation) sont épurées par les filtres plantés.

Grâce à la pompe de relevage, cet assainissement a pu être installé sur un terrain plat.

Les bassins étanches en béton (1) sont remplis de matériaux filtrants, comme de la pouzzolane, des graviers lavés ou du sable d'assainissement, et plantés de roseaux et d'iris des marais ou de scirpe (2). Une couche de béton qui est étanchéifiée avec du ciment hydrofuge se trouve au fond des buses.

L'eau est collectée puis redirigée vers un premier niveau qui est constitué de bassins qui fonctionnent en alternance tous les quinze jours, grâce aux vannes. Ces deux premiers bassins filtrants sont à écoulement vertical. L'eau continue vers un second niveau où se trouve un bassin à écoulement horizontal.

Grâce au travail des bactéries, qui s'installent naturellement dans le système et vivent en symbiose avec les plantes, l'eau rejetée dans la mare vivante (3) est épurée.

## Caractéristiques assainissement

**1. Prix :** Le coût de cette installation en filtres plantés est d'environ 3000 €. La mare a coûté 1200 €.

**2. Avantages :** dispositif efficace, sans odeur et sans production de boue, bonne intégration paysagère et entretien réalisable par l'utilisateur (petit jardinage).

**3. Limites :** manipulation des vannes tous les quinze jours et entretien de la chasse automatique.

plus de détails dans le Guide de l'ANC téléchargeable sur le site de l'association [www.pierreetterre.org](http://www.pierreetterre.org)



# RÉCUPÉRATEUR D'EAU DE PLUIE

## pour un usage domestique

## ÉQUIPEMENTS

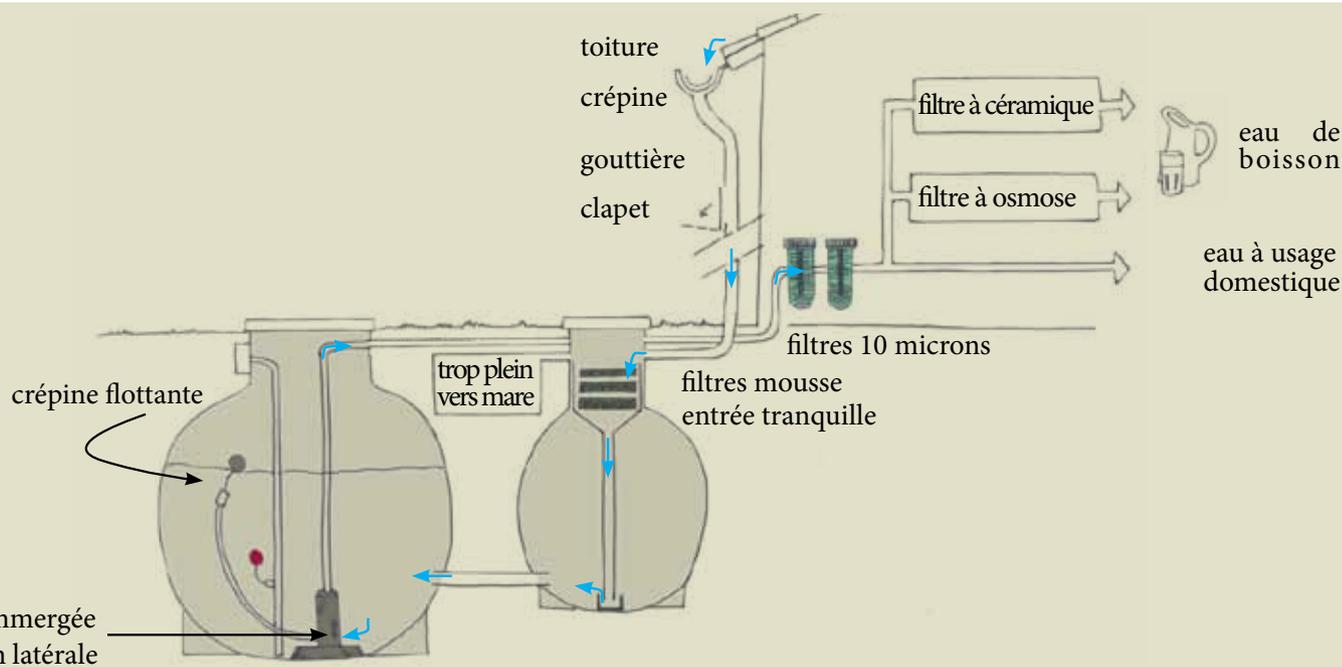
### Définition

Moins de 1% de l'eau sur terre est de l'eau douce et disponible à la consommation. Les récupérateurs d'eau de pluie sont installés afin que le bâtiment soit autonome en eau.

Le choix s'est orienté pour des cuves en béton sphériques car c'est un matériau qui a la particularité de rééquilibrer le pH de l'eau de pluie qui à l'origine est légèrement acide. Leurs formes de bulle ont l'avantage de ne pas avoir d'angles morts ce qui leur permet de mieux conserver l'eau stockée. La contenance de ces citernes est définie par rapport à la pluviométrie locale, les besoins et la surface de toiture. Ici, le récupérateur d'eau pluviale est constitué de deux cuves de 7000 l (diamètre 2,50 m et hauteur 2,05 m) et 3500 l (diamètre 2 m et hauteur 1,80 m) enterrées au nord du bâtiment.

Il ne doit pas y avoir de contact entre les eaux pluviales et l'eau du réseau potable communal. Pour cela, l'appoint en eau du système de distribution d'eau potable doit être assuré par un système de disconnexion par surverse totale avec ou sans trop plein, c'est-à-dire que la garde d'air doit être visible. Des kits sont vendus dans le commerce. À l'écocentre, seul un circuit d'eau pour l'eau de pluie a été installé dans le bâtiment. Si les cuves sont vides, un robinet raccordé au réseau potable permet de les remplir.

### Fonctionnement



Les cuves sont reliées directement aux gouttières qui collectent les eaux de pluie du toit. Un clapet permet d'éliminer les feuilles.

Plusieurs étapes de filtration sont nécessaires avant l'utilisation de cette eau :

Pré filtration :

Elle est effectuée grâce à un panier placé dans la rehausse de la première cuve où sont disposées des mousses de filtration en trois étages. Elles ont pour rôle d'éliminer les grosses particules comme les feuilles, les brindilles... Cette pré-filtration limite l'apparition de dépôt au fond des cuves.

Afin de pomper l'eau la plus claire possible dans la seconde cuve, la crépine flottante se situe 20 cm au dessous du niveau de l'eau.

Filtration primaire :

Lorsqu'elle entre dans le bâtiment, l'eau est à nouveau filtrée à l'aide de filtres de 20 et 10 microns. Cette étape permet d'utiliser l'eau pour un usage domestique (nettoyage de la maison et lave linge).

Potabilisation de l'eau :

Une dernière filtration est effectuée afin d'éliminer la pollution bactériologique et rendre l'eau de pluie potable. Pour cela il existe différents types de filtration. À l'écocentre vous pourrez découvrir deux types de filtration :

- la filtration avec cartouche en céramique : l'eau passe au travers d'un filtre à céramique de 0,4 à 0,7 microns puis dans un filtre de charbon actif. Il élimine les virus, les pesticides, métaux lourds ...

- la filtration membranaire à osmose inversée : l'eau passe au travers d'une membrane qui ressemble à un voile. L'eau traverse la membrane avec un passage ultra fin (0,0001 micron) ne laissant passer que la molécule d'eau.

Ces deux types de filtration sont présents dans l'écocentre. La distribution de l'eau est faite par un robinet trois voies. Deux voies sont utilisées pour la distribution d'eau sanitaire (froide et chaude) et la troisième pour l'eau potable filtrée par la cartouche céramique. Un deuxième robinet est installé pour l'eau potable filtrée par osmose.

## Caractéristiques récupération eau pluviale

**1. Prix :** Les cuves (1) ont coûté 3360 €. L'équipement nécessaire à l'installation d'un filtre à céramique (filtres 10 et 20 microns ainsi que corps de filtre) coûte 369 €. L'osmoseur coûte 210,43 €. La robinetterie spécifique a un coût de 149,32 € pour le robinet trois voies et 40 € pour la robinetterie simple.

**2. Avantages :** aide financière : certaines communes subventionnent l'installation de cuve de récupération et de rétention des eaux et L'Agence nationale de l'habitat aide les propriétaires pour l'installation d'un système de récupération d'eau de pluie, sous réserve qu'ils remplissent certaines conditions.

**3. Limites :** rentabilité sur le long terme.



# TOILETTES SÈCHES À COMPOST

## pour un système d'assainissement écologique

ÉQUIPEMENTS

### Définition

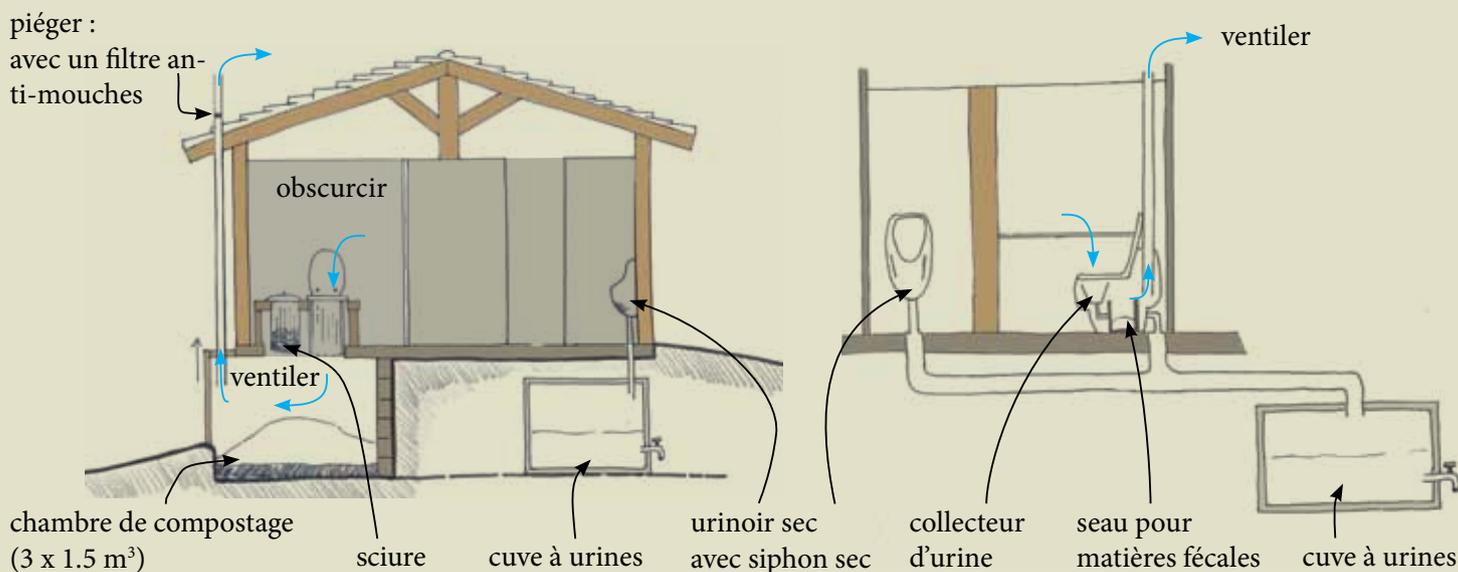
L'utilisation des toilettes sèches est une démarche éco-responsable qui permet la préservation des ressources vitales (eau et sols). Les toilettes sèches fonctionnent sans eau de dilution ni de transport et sont associées à un processus de traitement de nos excréments appelé compostage. Elle permettent :

- de créer un terreau : une fois les déjections récupérées puis compostées, on obtient un terreau qui pourra être utilisé dans le jardin. Nos déjections ne sont plus un déchet mais une matière ressource pour les sols.
- d'éviter la contamination de l'eau : notre corps rejette 50 à 90% des ingrédients actifs des médicaments et ces substances se retrouvent dans les eaux usées. Cela diminue donc la pollution azotée et phosphatée des rivières.
- d'effectuer une économie : une des particularités des toilettes sèches c'est qu'elles n'utilisent pas d'eau, ce qui permet d'effectuer une économie de la consommation en eau potable (de l'ordre de 30 % pour un foyer). Cela permet de diminuer la charge des stations d'épuration ou des ANC.

Un bâtiment extérieur regroupe trois toilettes sèches publiques dont une pour personne à mobilité réduite ainsi que trois urinoirs secs appartenant à la famille des toilettes sèches unitaires. Dans le bâtiment de l'écocentre, un urinoir sec et des toilettes sèches de type toilettes sèches à séparation des urines et des matières fécales à la source sont également installés.

### Fonctionnement toilettes sèches extérieures unitaires

### toilettes sèches intérieures à séparation



Dans le bâtiment extérieur, les modèles proposés sont les plus simples : un ajout de sciure après chaque utilisation est indispensable (1). Les résidus sont stockés dans les chambres de compostage conçues à même le sol (2). Une vidange tous les 10 000 passages est à prévoir, soit tous les trois ans environ. Lorsque les cuves sont vides, les matières passent par une dernière phase de traitement dans un composteur extérieur. Les urinoirs sont raccordés par gravité à une cuve et l'urine sert notamment à l'humidification du compost.

Les toilettes installées dans le bâtiment sont des toilettes sèches à séparation à la source de type Séparett (3). Elles ont pour particularité de séparer, à la source, les urines (qui représentent le volume le plus important) et les matières fécales. Cela a pour avantage de diminuer les «vidanges». Les urines sont évacuées et collectées dans une cuve à l'extérieur du bâtiment pour être soit utilisées comme fertilisant soit pour être traitées. Les matières fécales sont quant à elles collectées dans un seau sous l'assise et seront redirigées ultérieurement vers le compost. Une vidange tous les mois pour quatre personnes est à prévoir.

Dans les deux cas, une ventilation type extracteur permet de gérer les odeurs (environ 10 €/an pour un modèle Séparett).

## Caractéristiques toilettes sèches

1. **Prix** : les toilettes Separett coûtent environ 800 € mais pour des toilettes sèches en auto-construction, comme celles du bâtiment extérieur, le prix est variable.

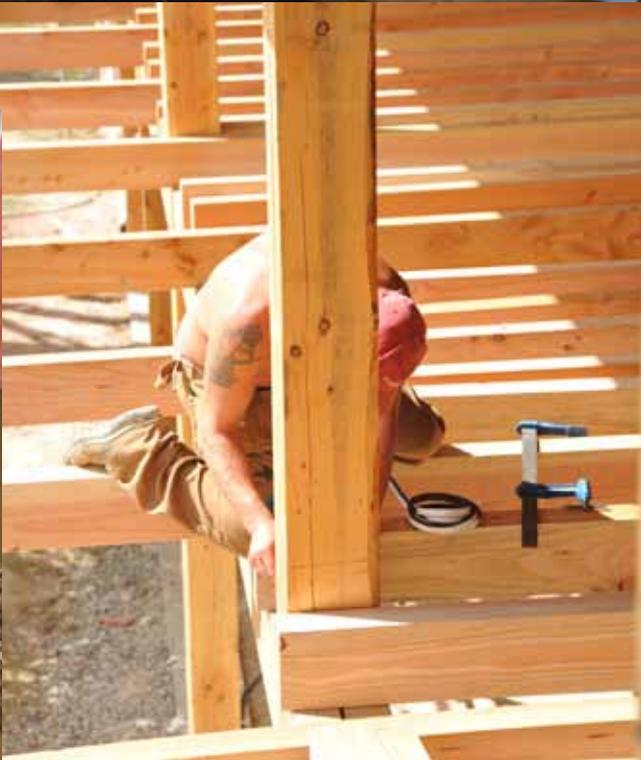
2. **Avantages** : économie d'eau potable, pas de contamination de l'eau, aucune odeur, fabriquées avec des matériaux recyclables, constitution d'un terreau, les derniers modèles ont une forte ressemblance avec une toilette classique, le nettoyage de la lunette se fait avec un désinfectant de surface de la même façon que des toilettes à eau.

3. **Limites** : acceptabilité culturelle, remise en question, relation vis à vis de nos matières.

plus de détails dans le Guide de l'ANC téléchargeable sur le site de l'association [www.pierreetterre.org](http://www.pierreetterre.org)











## Informier



## Animer et former



## Accompagner



*librairie, matériauthèque et écoboutique*    *formation, conférence et centre de loisirs*    *démarche de projet, chantier, écodiagnostic*

## Les services de l'association pierre et terre

**AUTEUR : Anaïs Chesneau** avec l'aide de **Christophe Merotto** et **Charline Marcos**

**MISE EN PAGE ET CONCEPTION : Anaïs Chesneau**

Nous remercions chaleureusement Paul Cottavoz, Jean-Marc Jourdain, Odile Janin et Stéphane Granier qui ont consacré du temps à la relecture de l'ouvrage.

Nous remercions également Johanna et Clélie pour leurs ébauches sur les fiches techniques.

**RÉALISATION : Écocentre Pierre et Terre**

**IMPRESSION : Artip Communication** (Auch) - imprimé avec des encres végétales et sur papier recyclé

**CRÉDITS PHOTOS : Écocentre Pierre et Terre**

Aucun texte ou photo ne peut être reproduit sans l'autorisation de l'association Pierre et Terre. Malgré tout le soin apporté à l'élaboration de ce guide, nous ne pouvons être tenus pour responsables d'éventuels problèmes résultant de l'application des informations publiées.

**CONTACT : Écocentre Pierre et Terre - Route de Saint Mont - 32400 RISCLE**

**TÉL : 05 62 69 89 28 - COURRIEL : pierreetterre.habitat@orange.fr**

**Site web : [www.pierreetterre.org](http://www.pierreetterre.org)**