



LA CONSTRUCTION EN PAILLE



RFCP

**RÉSEAU FRANÇAIS DE LA
CONSTRUCTION PAILLE**



INTRODUCTION

2

Les avantages de la construction paille

Sous-produit de l'agriculture abondant : 5% de la paille = 500 000 logements	Produit local Minimisation du transport	Compostable ou réutilisable en fin de vie	Très bon isolant	Stocke le carbone	Faible énergie grise
---	--	---	------------------	-------------------	----------------------

Les murs peuvent être perspirants

La paille : apport d'inertie

Déchets de chantiers réduits

Valorisation du travail humain

Emission COV : A+

Bilan carbone positif

HISTORIQUE

Depuis des millénaires : utilisation de la paille (torchis, chaume).

1886 : premières habitations en paille porteuse au Nebraska.



Un siècle plus tard

1920 : première maison en paille en Europe et en France : la maison Feuillette.



1980 : renouveau de la construction paille en France.

2006: création du Réseau Français de la Construction Paille (RFCP).

2011 : Validation des règles professionnelles par la C2P.

2013 : création du Centre National de la Construction Paille (CNCP).

HISTORIQUE

La construction paille aujourd'hui



Groupes scolaires



Logements sociaux



Bâtiments tertiaires



Locaux commerciaux

■ plus de **5000** bâtiments en paille en France
■ **300** nouvelles constructions chaque année



Bâtiments industriels



Logements individuels



Logements collectifs

Recensement par région :

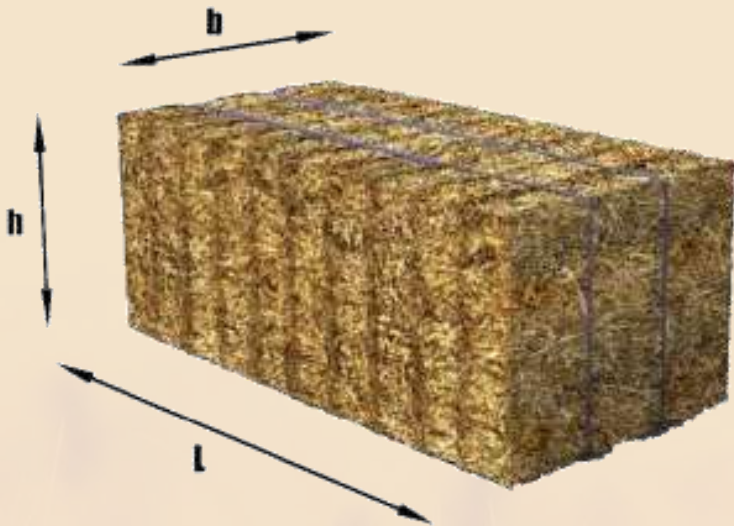
- Centre : 250 bâtiments
- RA : 550 bâtiments
- PACA : 480 bâtiments



Des Règles Professionnelles

Barrières psychologiques :

- Feu → densité élevée
- Rongeurs → pas de grains + densité élevée
- Durabilité : paille retrouvée dans les pyramides d'Égypte
- Confusion avec le foin



Caractéristiques botte de paille :

Paille : tige des céréales une fois les grains récoltés

Céréale : Blé, orge, seigle, avoine...

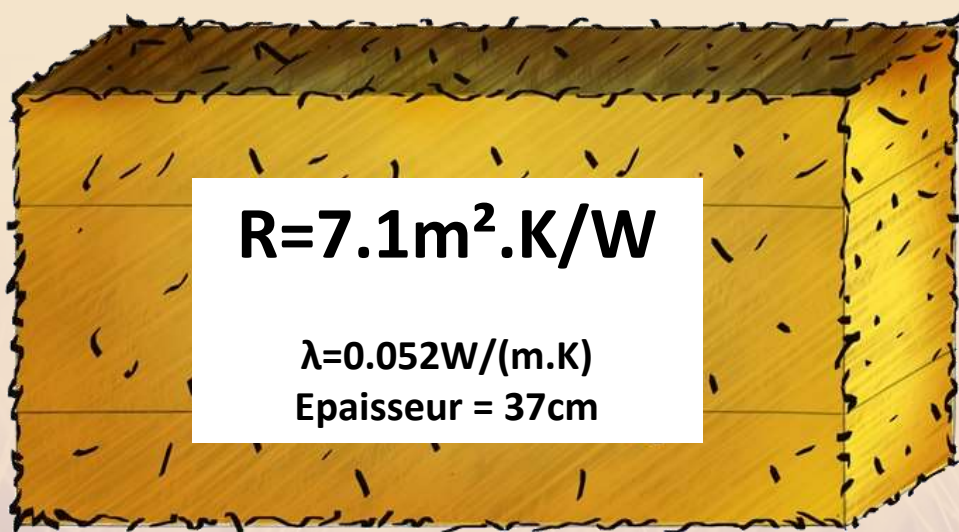
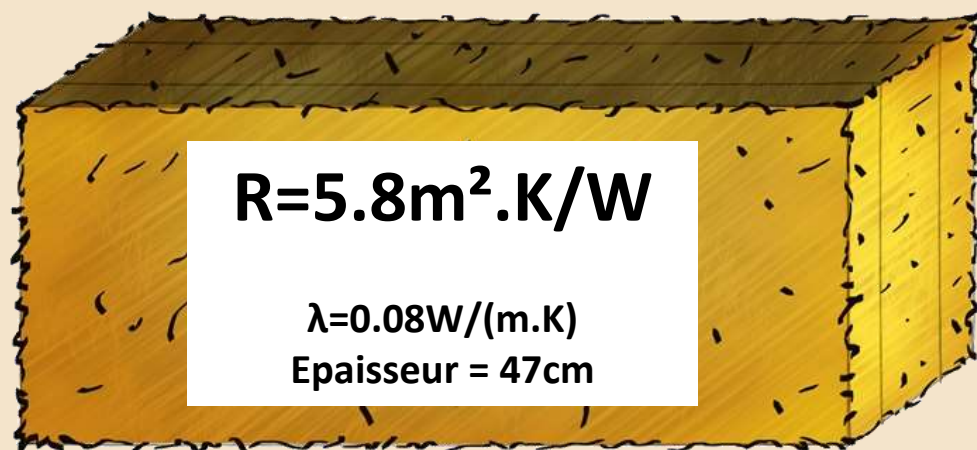
Densité : entre 80 et 120 kg/m³

Dimensions : 47x37x90 cm (b*h*L)

Taux d'humidité relative : <20%

Caractéristiques thermiques

**Bottes posées
à plat**



**Bottes posées
sur chant**

Rappel

En France, pour pouvoir réaliser la mise en œuvre d'un matériau de construction et s'assurer en « technique courante » il est nécessaire de se conformer aux conditions suivantes :

- Respecter la réglementation en vigueur
- Utiliser un matériau caractérisé apte à l'usage visé
- Respecter des règles de conception et de mise en œuvre reconnues
- Construire avec une main d'œuvre qualifiée

- 5 ans de travail
- 30 professionnels bénévoles
- plus de 100 000€ pour les tests
→ rédaction des Règles professionnelles.

29 juin 2011 : validation des règles CP 2012 par la C2P
1^{er} janvier 2012 : entrée en vigueur des règles CP 2012



Une description de « bonnes pratiques » avec:

- des préconisations de mise en œuvre
- des objectifs de performance

Un document de référence pour :

- apprendre à concevoir et construire
- mieux comprendre la construction en paille
- améliorer ses pratiques

Règles CP 2012 révisées

Rupture de stock (6 000 exemplaires)

→ Nouvelle édition enrichie de 2 années de retours d'expérience auprès des formateurs, concepteurs et des constructeurs de bâtiments isolés en paille.



PRÉSENTATION DES RÈGLES CP2012

10

Organisation du document

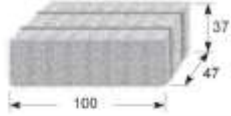




PARTIE 1	Règles professionnelles	13
CHAPITRE 1	Généralités	15
CHAPITRE 2	Propriétés du matériau botte de paille	19
CHAPITRE 3	Techniques constructives	27
CHAPITRE 4	Ouvrages connexes	
CHAPITRE 5	Revêtements	
ANNEXE A6	Résultats et procès-verbaux d'essais	
	Terminologie	
	Contexte normatif	
	Documents de référence	
	Table des illustrations.....	
	Index	
	Table des matières.....	
PARTIE 2	Annexes	121
ANNEXE A1	Cahier des charges pour l'utilisation de bottes de paille dans la construction	123
ANNEXE A2	Procédure de contrôle de la qualité de mise en œuvre de la paille	131
ANNEXE A3	Procédure de validation de la maîtrise des tensions au séchage d'enduits à base d'argile	137
ANNEXE A4	Procédure de validation de tenue au cisaillement d'enduits	141
ANNEXE A5	Coefficient à la diffusion de vapeur d'eau μ	147

Domaine d'application

- Mise en œuvre de la paille
 - Matériau paille pour la construction
 - Remplissage isolant
 - Thermique
 - Acoustique
 - Support d'enduit
 - Liant hydraulique
 - Liant à base d'argile

Propriétés du matériau

- Récolte
- Conditions
 - Bottelage
 - Stockage
 - Mise en oeuvre

Partie de la botte de paille visible au premier plan	Avantages	Inconvénients
<p>À plat, chant visible</p> 	<p>Facilité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Remplissage des bottes - la réalisation des parois courbes - l'obtention de la planéité - la mise en compression des parois 	<ul style="list-style-type: none"> - Épaisseur de la paroi - Nombre non optimal de bottes utilisées par m² de paroi
<p>Sur chant, face visible</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Moindre épaisseur de la paroi - Nombre optimal de bottes par m² de paroi 	<p>Empilement plus difficile qu'à plat</p>
<p>Debout, face visible</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Régularité de l'entraxe de l'ossature - Rapidité de mise en oeuvre - Facilitation de la réalisation des angles - Calepinage simplifié - Préfabrication facilitée 	<p>Fixation des bottes plus délicate dans le cas d'une ossature non traversante</p>
<p>À plat, bout visible</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Maîtrise de l'épaisseur de la paroi (après découpe des bottes) - Contrôle aisé de la longueur des bottes en découpant et refaisant celles-ci - Maîtrise complète des dimensions des bottes 	<p>Découpage quasi-systématique des bottes</p>
<p>Debout, chant visible</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle aisé de la longueur des bottes en découpant et refaisant celles-ci - Maîtrise complète des dimensions des bottes 	<p>Découpage quasi-systématique des bottes</p>

Tab. 2.1. Teneur en eau sur poids sec de la paille

Teneur en eau sur poids sec de la paille (%)	Bottelage	Stockage	Mise en œuvre
< 20	Oui	Oui	Oui
De 20 à 30	Oui	Déconseillé (1)	Non
> 30	Non	Non	Non

(1) Les bottes de paille sont laissées dans le champ jusqu'à diminution suffisante du taux d'humidité.

Matériau paille

□ Préparer

□ Contrôler, qualifier

ANNEXE A1

Cahier des charges pour l'utilisation de bottes de paille dans la construction

Tab. A1.6. Bordereau de contrôle qualité de bottes de paille pour la construction

Fournisseur			Client		
Nom, Prénom			Nom, Prénom		
Siret			Siret		
Adresse			Adresse		
N° PACAGE					
Remarques			Remarques		
Date & signature			Date & signature		
Adresse du chantier					
Botte n°	Masse volumique (kg)	Teneur en eau sur poids sec de la paille HR (%)	Botte n°	Masse volumique (kg)	Teneur en eau sur poids sec de la paille HR (%)



Botte de paille brute. Une partie de la paille fait une bosse entre les ficelles. Cette paille en excès est utilisée pour rectifier la botte.



Une partie de la paille en excès est saisie de chaque côté de la ficelle...



... puis glissée sous la ficelle...



... jusqu'à l'angle de la botte.



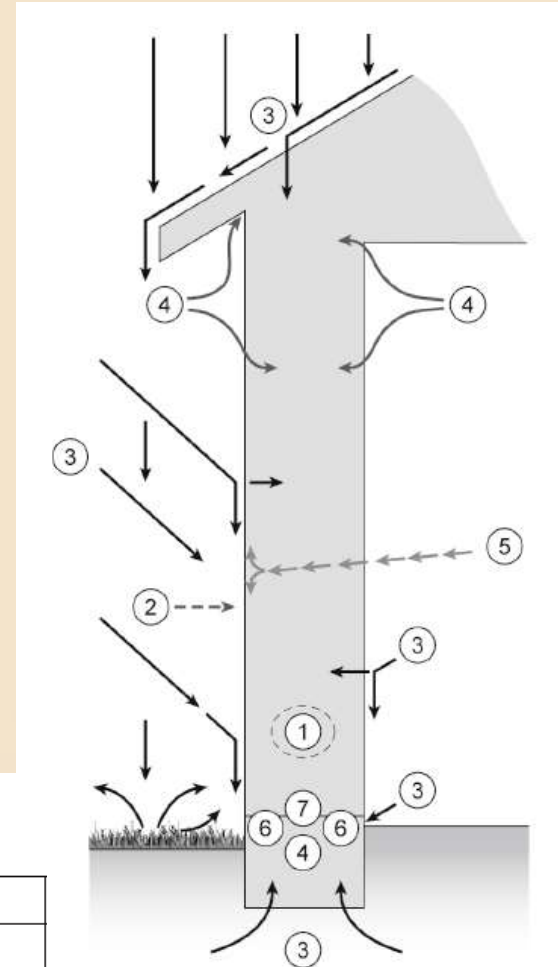
L'opération est répétée sous chaque ficelle et sur chaque face aux deux bouts de la botte.



À la fin de l'opération, les deux bouts de la botte de paille forment des angles droits.

Techniques de conception

- Des points sensibles
- Des propositions d'adaptation au climat



Tab. 3.5. Revêtements extérieurs recommandés en fonction des expositions des façades et de la situation des bâtiments

Hauteur de la paroi au-dessus du sol (m)	Situation a, b, c			Situation d		
	<i>Abritée</i>	<i>Semi-abritée</i>	<i>Exposée</i>	<i>Abritée</i>	<i>Semi-abritée</i>	<i>Exposée</i>
Moins de 3	I, II, III	II, III	II, III	I, II, III	II, III	III
De 3 à 6	I, II, III	II, III	III	I, II, III	II, III	III
Au-delà de 6	I, II, III	II, III	III	II, III	II, III	III

Poser, remplir, dresser de la paille

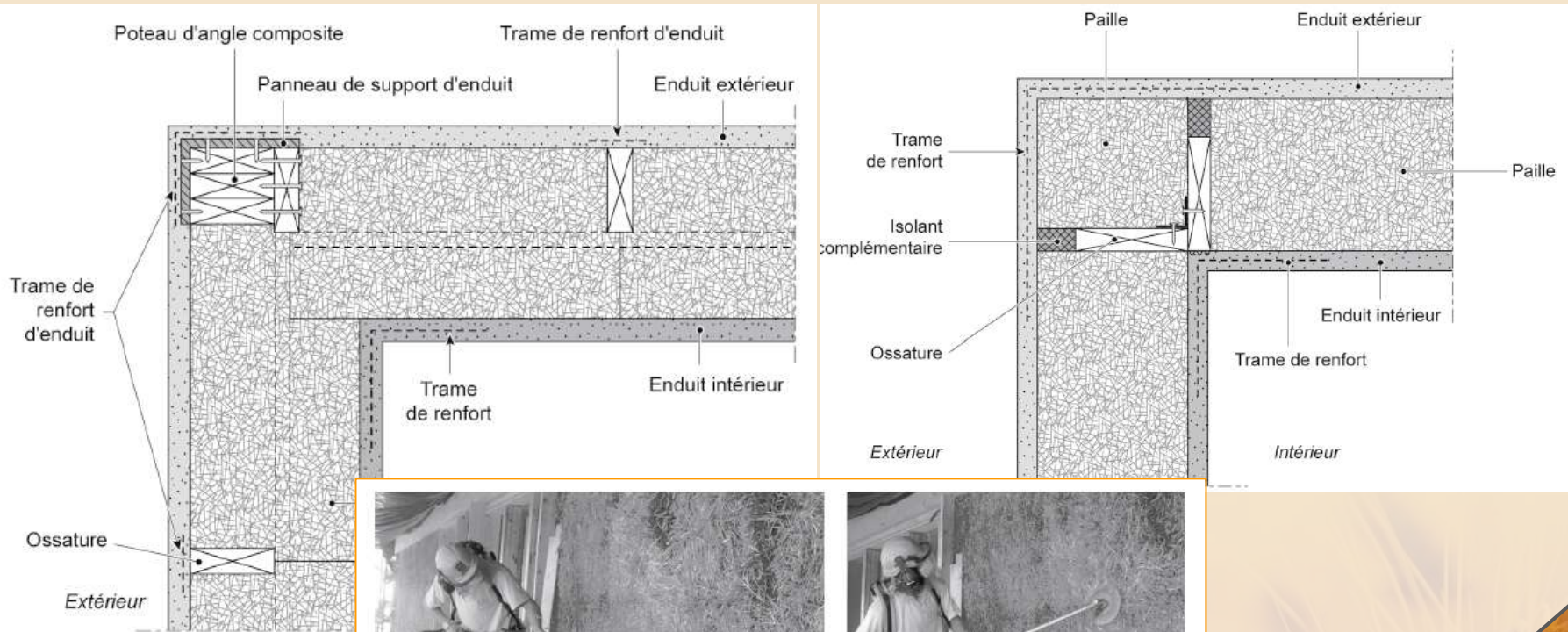
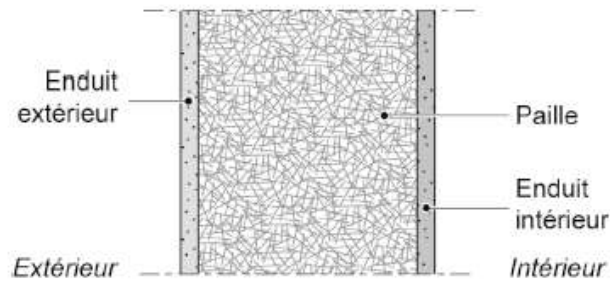


Fig. 3.12. Dressage de parois en paille avant réalisation des enduits

Gérer la vapeur d'eau

□ Des préconisations



Règles à observer

$$Sd_{ext} < Sd_{int}$$

ou

$$Sd_{ext} \leq 1 \text{ m}$$

Fig. 3.19. Différence extérieur/intérieur de résistance à la vapeur d'une paroi avec enduits extérieur et intérieur

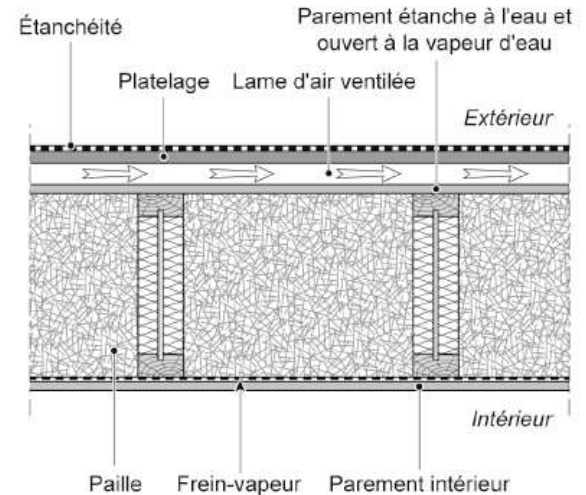
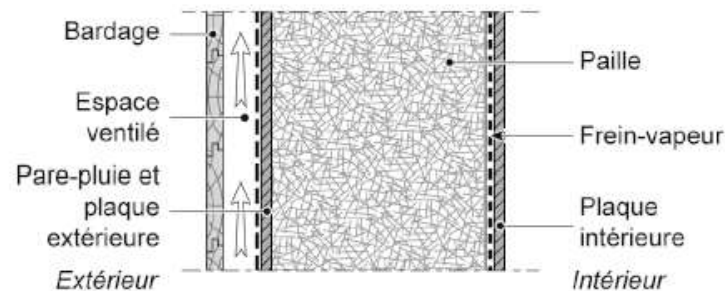


Fig. 3.26. Différence extérieur/intérieur de résistance avec espace ventilé : toiture-terr

Règles à observer

$$Sd_{ext} \leq Sd_{int}/3$$



Règles à observer

$$Sd_{ext} \leq Sd_{int}/5$$

Fig. 3.21. Différence extérieur/intérieur de résistance à la vapeur d'une paroi avec parement (bardage, tuiles, etc.) ventilé et plaques extérieures et intérieures

Des typologies de mise en œuvre

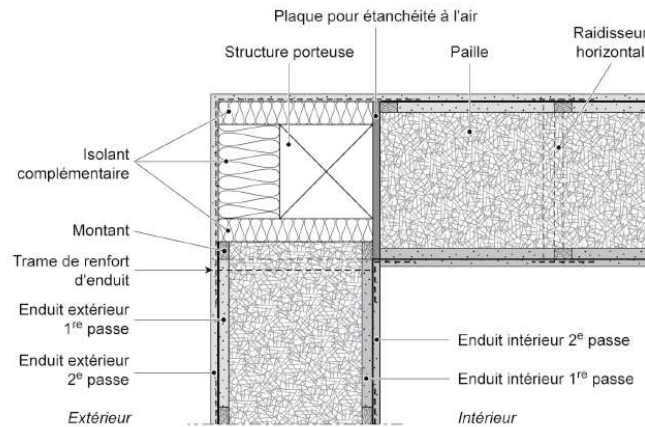
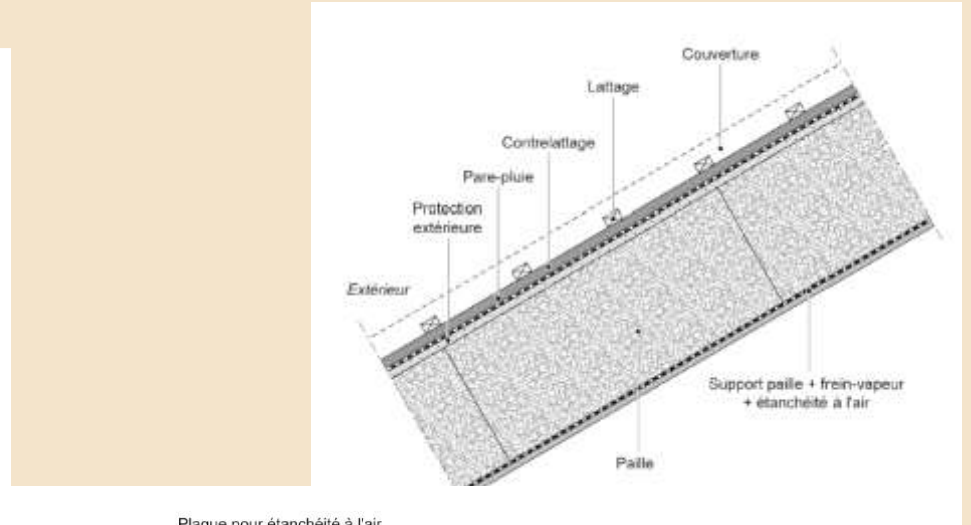
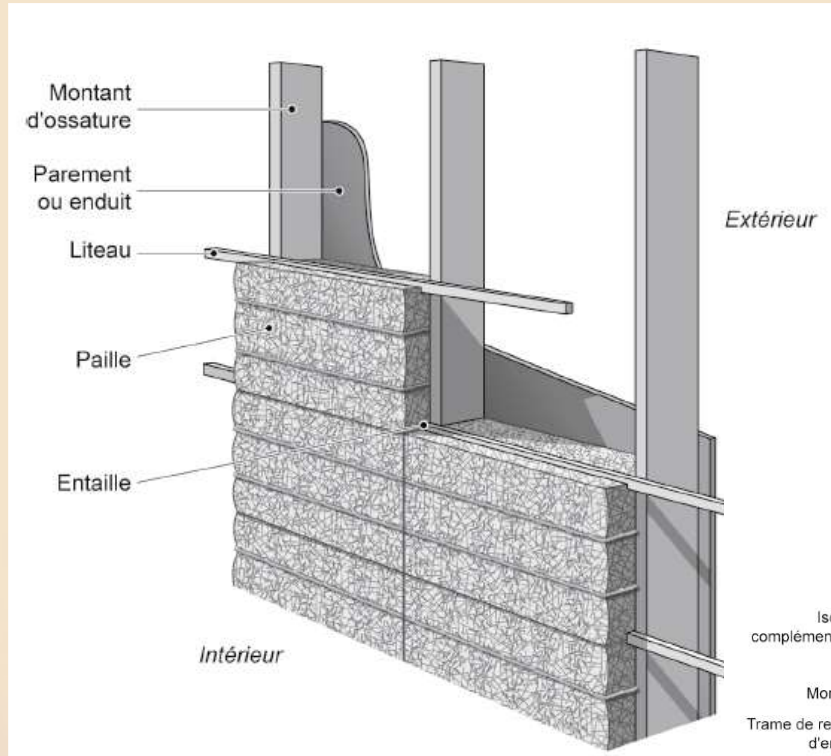
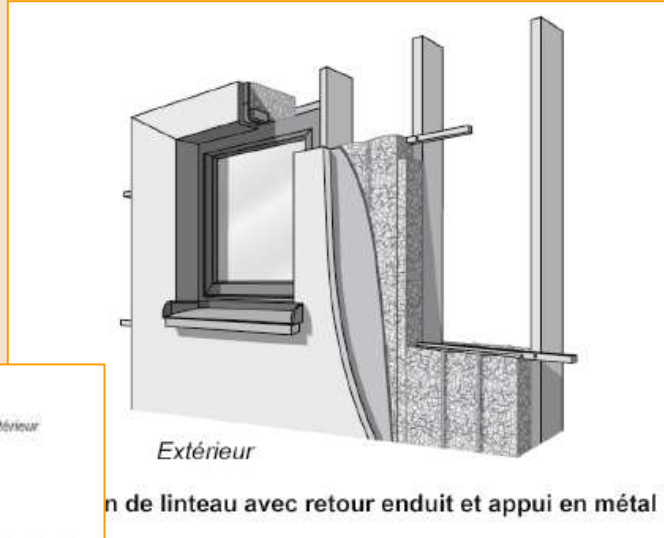


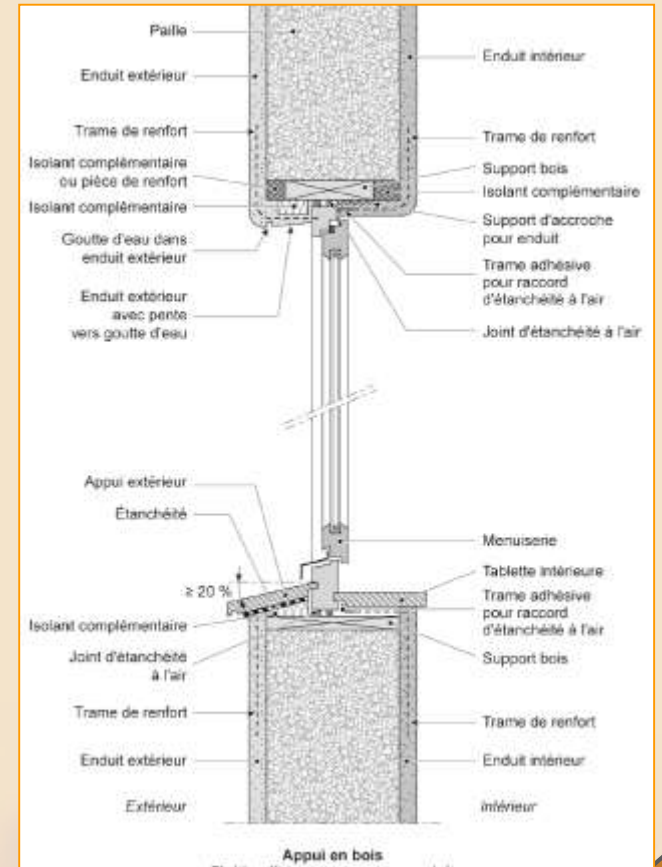
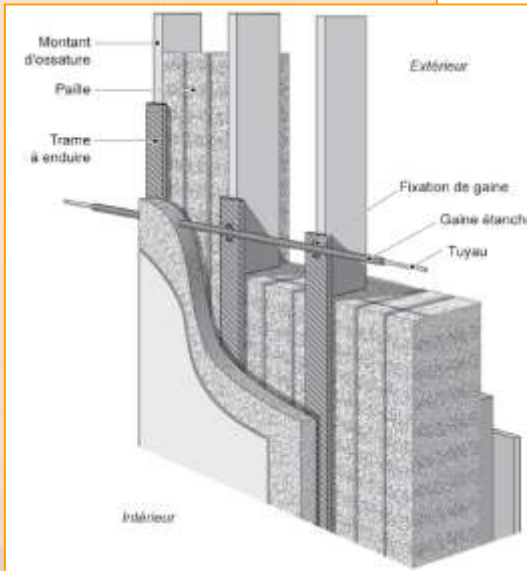
Fig. 3.36. Exemple de remplissage « en tunnel » d'une double ossature secondaire avec structure noyée dans l'isolant : vue en plan

Ouvrages connexes

□ Ouvertures, appuis, linteaux



□ Réseaux

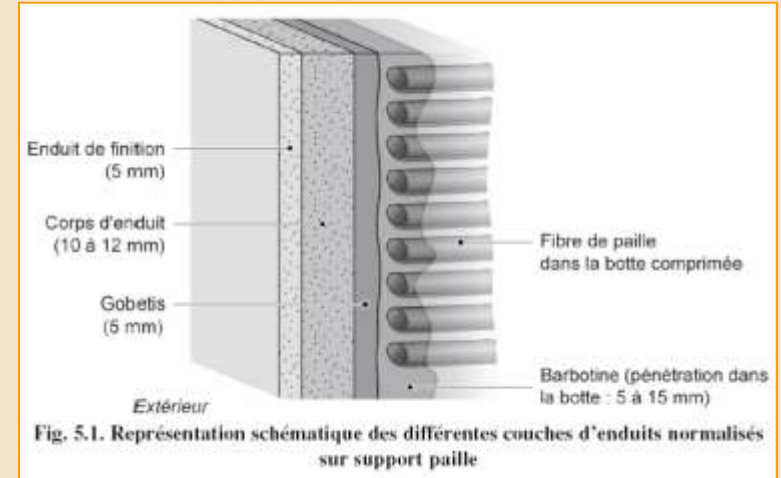


Revêtements enduits

□ Enduits normalisés

Tab. 5.1. Délai entre la réalisation du corps d'enduit et la couche de finition (enduits normalisés)

Type de corps d'enduit	Délai avant application de la couche de finition
Non armé	Délai de séchage + 6 mois
Armé	Délai de séchage + 3 mois

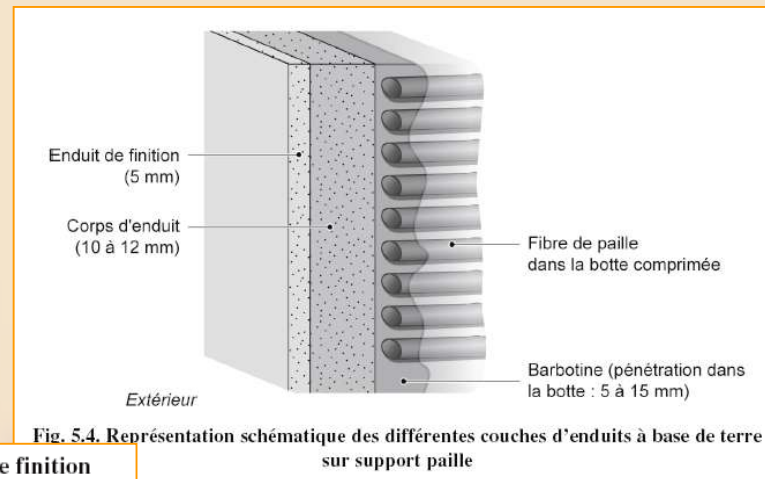


□ Enduits à base de terre

■ Prête à l'emploi

■ Locale

□ Autocontrôle



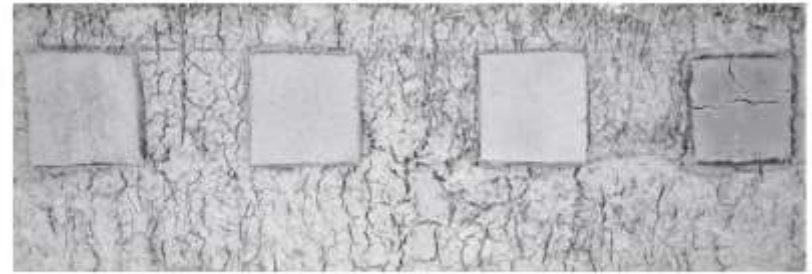
Tab. 5.3. Délai entre la réalisation du corps d'enduit à l'argile et la couche de finition

Liant du corps d'enduit	Délai avant application de la couche de finition
	<i>Argile ou chaux</i>
Argile	Durée de séchage du corps d'enduit

Enduits de terre locale – maîtrise dosages

ANNEXE A3

**Procédure de validation
de la maîtrise des tensions
au séchage d'enduits à base d'argile**



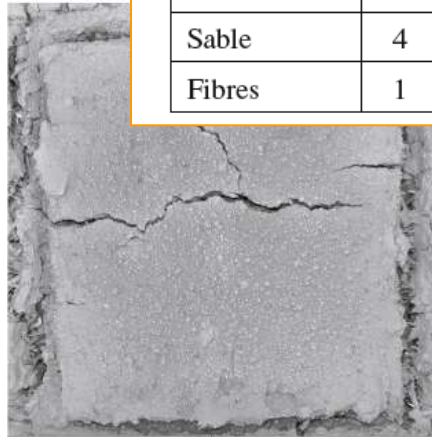
Faible proportion d'argile ⇨ ⇨ ⇨ ⇨ ⇨ Forte proportion d'argile

Tab. A3.1. Exemple d'essais de dosage d'enduits en volume

<i>Échantillon 1</i>		<i>Échantillon 2</i>		<i>Échantillon 3</i>		<i>Échantillon 4</i>	
Terre	1	Terre	1	Terre	1	Terre	1
Sable	4	Sable	3	Sable	2	Sable	1
Fibres	1	Fibres	1	Fibres	0	Fibres	0



Les enduits qui poudrent manquent d'argile



Les enduits qui présentent des fentes sont trop riches en argile

Fig. A3.3. Échantillons réalisés avec des terres et des dosages terre/sable différents



CARACTÉRISATION DU MATÉRIAU PAILLE



CARACTÉRISATION DU MATÉRIAU PAILLE

22

Essais réalisés

- Vérification de l'appétences vis-à-vis des termites (04/10/10).
- Détermination du coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau.
- Détermination de la capacité thermique massique (22/01/2013).
- Cahier des ponts thermiques de parois isolés en paille(18/03/2013).
- Détermination des émissions en polluants volatils (21/08/2013).
- FDES (01/09/2013, CETE IDF / RFCP, selon NF P01-010) .
- Courbe de sorption (09/01/2014, selon NF EN ISO 12571) .
- Essai d'allumabilité (06/10/2010, selon NF EN ISO 11925-2).
- Essai SBI, classement de la réaction au feu (27/03/2012, selon EN 13501-1 :2007).
- Évaluation de l'indice « C+D », essai L.E.P.I.R. II comportement au feu d'un élément de façade (23/10/2009).



CARACTÉRISATION DU MATÉRIAU PAILLE

Interface entre menuiserie et enduit dans le cas d'une double ossature avec finition du tableau enduit (OB8p Mpe type greb MT5) :

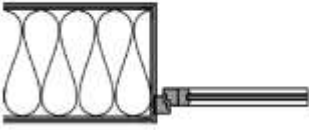
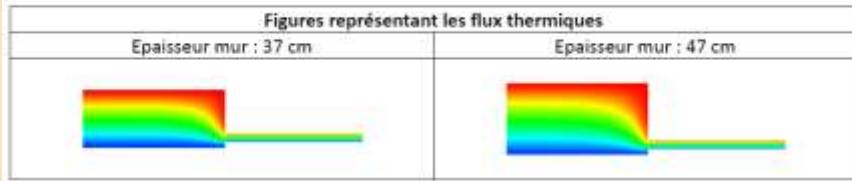
	Type de pose et épaisseur de la paille	ψ (W/m.K)
	Sur chant (37cm)	0.217
	A plat (47cm)	0.285

Fig. 4.9. (Règles CP2012) Interface entre menuiserie et enduit dans le cas d'une double ossature : vues en plan.



Essai valide
Les termites ne peuvent pas survivre qu'avec de la paille.

Appétence vis-à-vis des termites

Cahier des ponts thermiques de parois isolés en paille

Capacité thermique massique

Paille - échantillon n°1

T (°C)	Cp (J/(kg.K))
23	1558

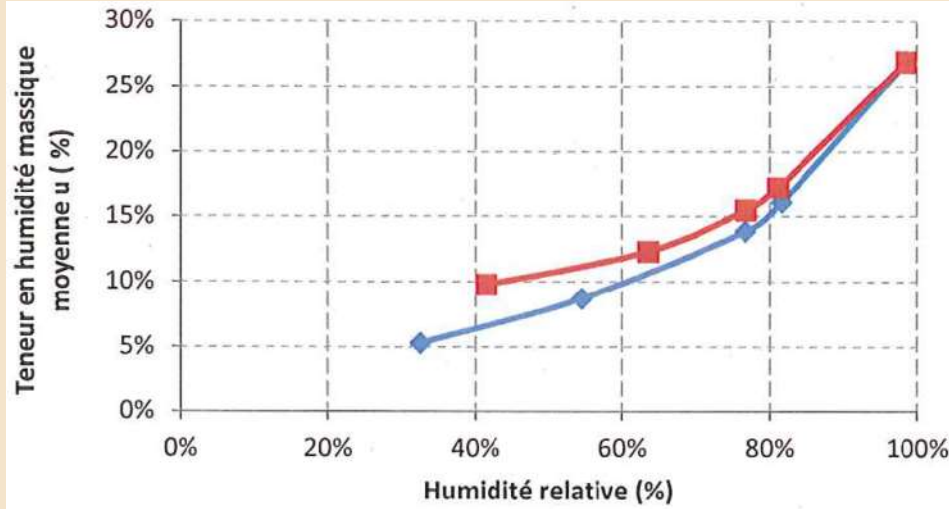
Paille - échantillon n°2

T (°C)	Cp (J/(kg.K))	
	Cycle 1	Cycle 2
23	1540	1338



CARACTÉRISATION DU MATÉRIAU PAILLE

μ moyen (paille) = 1,15



N° CAS	Nom du composé	tR (min)	C exp (µg/m3)
			J 28
50-00-0	Formaldéhyde	11.5	2.4
75-07-0	Acétaldéhyde	14.5	<LQ
108-88-3	Toluène	12.4	ND
127-18-4	Tétrachloroéthylène	14.5	ND
1330-20-7	Xylènes (m-, o-, p-)	17.7 et 19.1	ND
95-63-6	1,2,4-Triméthylbenzène	24.4	ND
106-46-7	1,4-Dichlorobenzène	25.3	ND
100-41-4	Éthylbenzène	17.3	ND
111-76-2	2-Butoxyéthanol	19.7	ND
100-42-5	Styrène	19.0	ND
COVT _{EU}			14,7

Courbe d'adsorption - désorption

Coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau

Des émissions en polluants volatils

ÉMISSIONS DANS L'AIR INTÉRIEUR*

A+

A+ A B C



CARACTÉRISATION DU MATÉRIAU PAILLE

25



Classement de réaction au feu : **E**



B-s1, d0



Classement de réaction au feu

Essai d'allumabilité

Essai LEPIR II
(BE Gaujard Technologies SCOP)
Evaluation indice C+D

Essai SBI
(Single Burning Item)



CARACTÉRISATION DU MATÉRIAU PAILLE

26

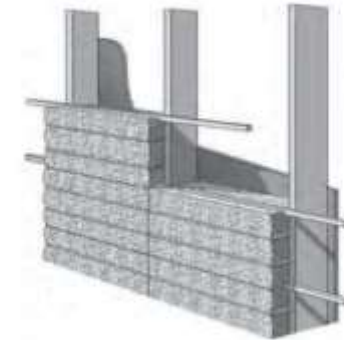
FDES REEMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE

N°	IMPACT ENVIRONNEMENTAL	VALEUR DE L'INDICATEUR POUR TOUTE LA DVT
1	CONSOMMATION DE RESSOURCES ENERGETIQUES	
	Energie primaire totale	4.99E+02 MJ
	Energie renouvelable	4.91E+02 MJ
	Energie non renouvelable	7.87E+00 MJ
	Energie procede	8.89E+00 MJ
2	EPUISEMENT DE RESSOURCES (ADP)	3.74E-03 kg équivalent antimoine (Sb)
3	CONSOMMATION D'EAU TOTALE	3.04E+01 litre
4	DECHETS SOLIDES	
	Déchets valorisés (total)	2.12E-06 kg/UF
	Déchets éliminés :	
	<i>Déchets dangereux</i>	9.11E-02 kg
	<i>Déchets non dangereux</i>	1.74E+01 kg
	<i>Déchets inertes</i>	7.78E-02 kg
	<i>Déchets radioactifs</i>	1.49E-04 kg
5	CHANGEMENT CLIMATIQUE	-9.63E+00 kg équivalent CO2
6	ACIDIFICATION ATMOSPHERIQUE	9.04E-06 kg équivalent SO2
7	POLLUTION DE L'AIR	4.29E+02 m ³
8	POLLUTION DE L'EAU	1.70E+01 m ³
9	DESTRUCTION DE LA COUCHE D'OZONE STRATOSPHERIQUE	2.52E-09 kg CFC équivalent R11
10	FORMATION D'OZONE PHOTOCHIMIQUE	9.32E-04 kg équivalent éthylène
AUTRE INDICATEUR (HORS NORME NF P01-010)		
11	EUTROPHISATION	1.32E-02 kg équivalent PO ₄ ³⁻

Unité Fonctionnelle (UF) :

1 m² de mur isolé en botte de paille.

Remplissage isolant en bottes de paille



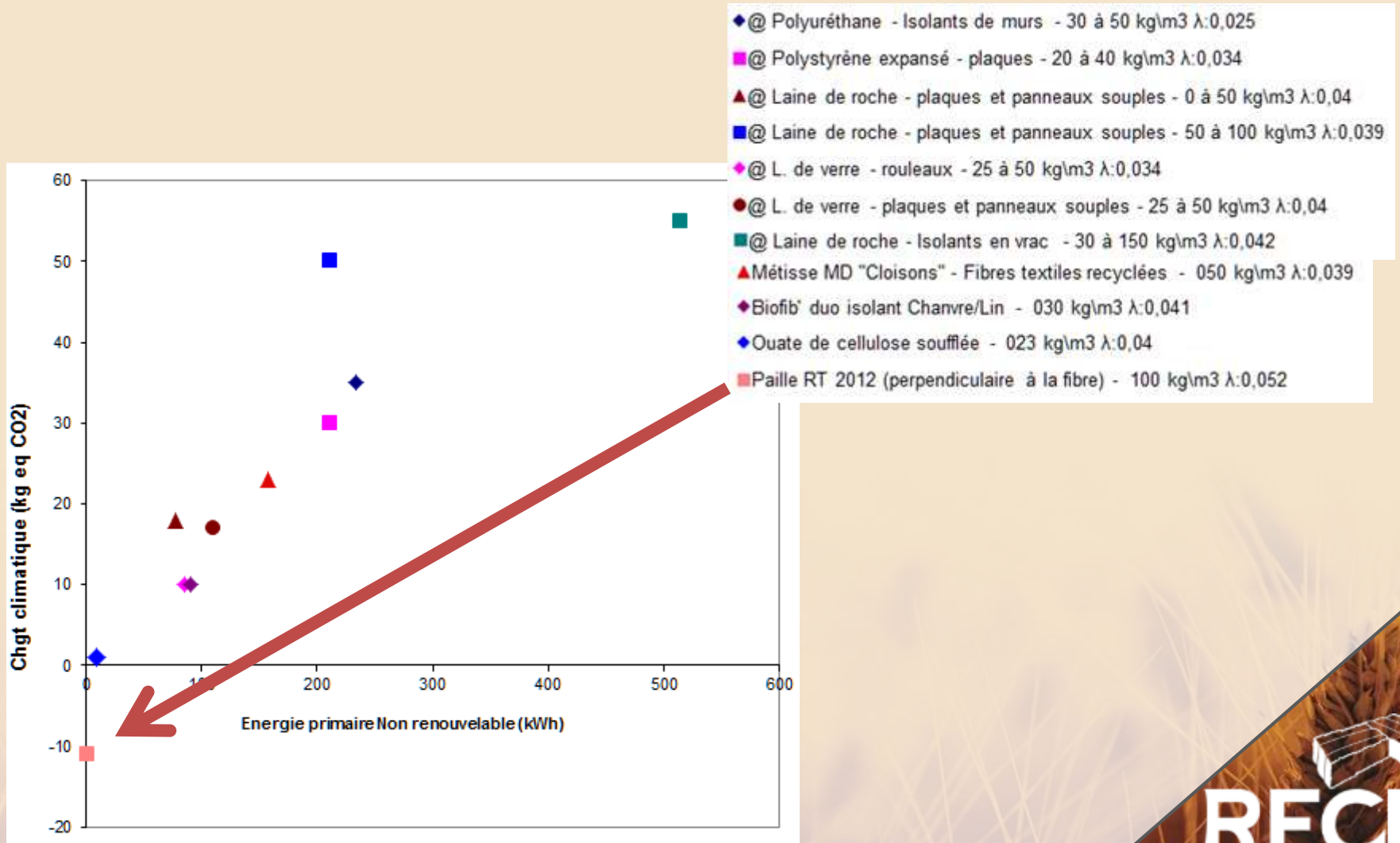
(Conformément aux règles professionnelles de construction en paille – CP 2012)

FDES à déclaration collective

CARACTÉRISATION DU MATÉRIAU PAILLE

27

FDES REMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE



PRO-PAILLE

LA FORMATION AUX RÈGLES PROFESSIONNELLES
CP2012



RFCP

RÉSEAU FRANÇAIS DE LA
CONSTRUCTION PAILLE

Objectifs

- Acquérir les connaissances des règles de l'art en construction ossature bois paille décrites dans les règles professionnelles CP2012
- Apprendre les bases de la thermique et de la physique du bâtiment
- Savoir communiquer et expliquer aux autres acteurs de la construction les détails de cette technique



FORMATION PRO-PAILLE

30

- **Public cible** : toute personne souhaitant se professionnaliser dans la construction paille (architecte, artisan, ingénieur en bureaux d'étude...)
- **Durée** : 5 jours
- **Coût** : environ 1050€ TTC (dépend des organismes de formation).
- **Méthode pédagogique** : 40% d'apprentissage sur plateau technique et 60% de théorie
- **Remis en fin de formation** :
 - Certificat de réussite Pro-Paille (suite à une évaluation)
 - Mallette pédagogique stagiaire
- **Organisation** :
 - Binôme de formateurs certifiés Pro-Paille complémentaires
 - Organisme de formation accréditées par le RFCP

Les chiffres clefs entre 2012 et 2018



Aujourd'hui

.1500 personnes ayant participé à une formation Pro-Paille



75 formateurs Pro-Paille
Remise à niveau tous les 2 ans

EXEMPLES DE BÂTIMENTS



RFCP

RÉSEAU FRANÇAIS DE LA
CONSTRUCTION PAILLE

Maison individuelle – 2010

Maître d'œuvre : Architecture & Paysages sarl (67)

Localisation : 67350 Pfalzweyer

SHON : 158 m²



33



Système constructif

Panneaux préfabriqués de charpente, constitués de voiles travaillants et ossatures de bois posés sur un dallage BA porté

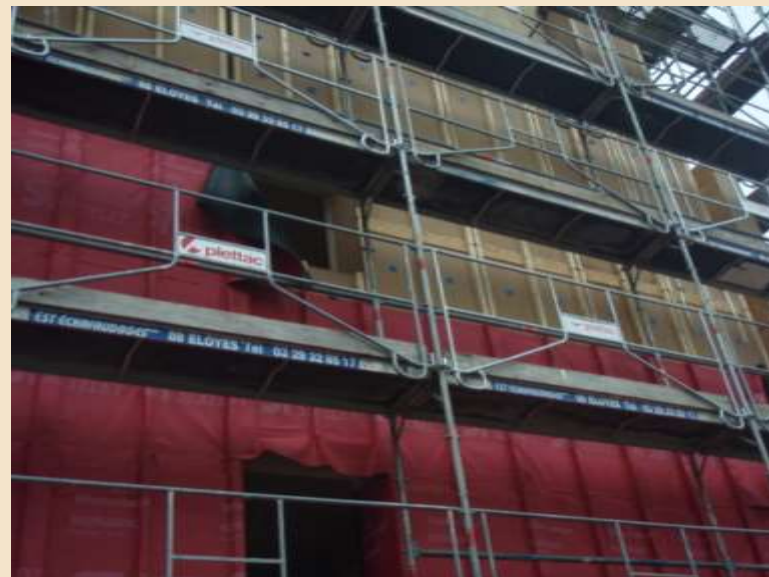


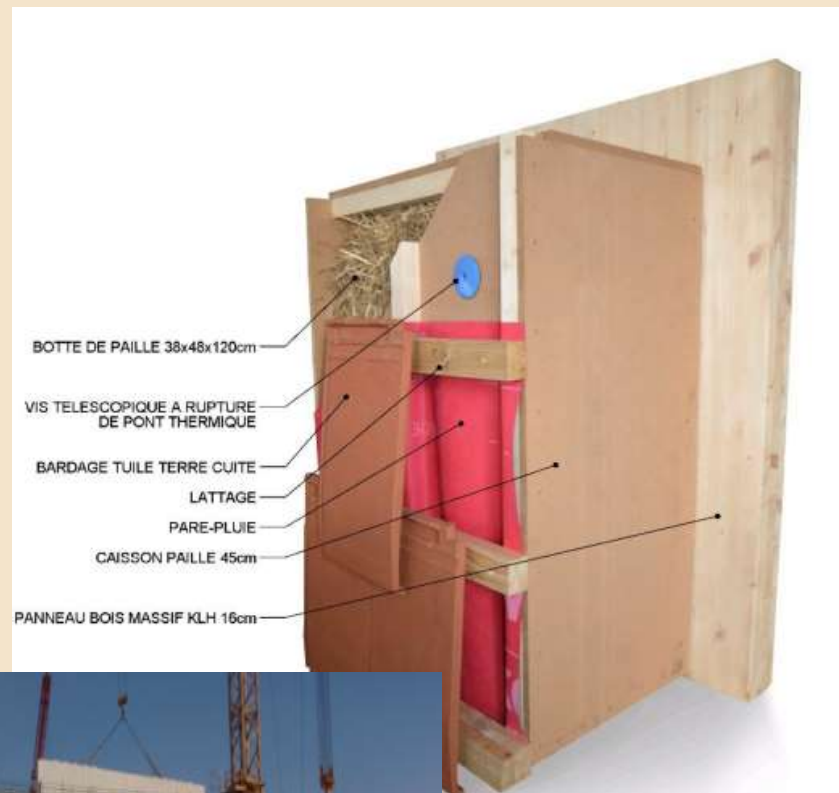
Type de parement

Bardage de mélèze brut









Système constructif
Technique du GREB.

Type de parement
Bardage extérieur en douglas,
mortier GREB + badigeon en
intérieur.



Bureaux - 2009.

Localisation : La Tour de Salvagny (69) .

Maître d'ouvrage : Jardin de Cocagne de l'Ouest Lyonnais.

Maître d'œuvre : Stéphane Peignier.

Entreprises en relation avec la paille :
Bâti Nature - Daniel Robert.

SHON : 550m².

Surface murs isolés en paille : 430 m².



Système constructif

Structure ossature bois, remplissage en bottes de paille.

Type de parement

Enduits terre, Enduits terre-chaux aérienne, Enduits chaux aérienne.



Groupe scolaire du Fort Issy-les-Moulineaux (92) - 5 241 m²
Architectes : Sonia Cortesse - Bernard Dufournet

41



Pôle scolaire et médical à Salies-de-Béarn - 1071 m²

Architectes : Luc Claverie

42



Groupe scolaire à Montreuil (93) – 6200 m²
Architectes : MEANDRES



Salle Polyvalente - Mazan (84) - 1740 m²
Architectes : O. Souquet et F. Defrain.

44



Acoustique intérieure → Murs et plafond sont revêtus de lames en bois appareillées qui permettent une meilleure réverbération.



Réhabilitation de la cartonnerie à la friche de mai (13).



Le chantier



↑ Remplissage des caissons

← Déconstruction de la façade

Le chantier



↑ Pose des caissons autoporteurs



↑ Adaptation aux sheds et pose des couvertines

Le chantier



↑ Finitions

↑ Pose parement extérieur / étanchéité

CONCLUSION

Perspectives...

- Ecriture de nouvelles règles professionnelles pour l'ITE paille
- Projet Européen Interreg UP-STRAW : développement de la construction paille à grande échelle [5 pays : France (pilote), Allemagne, Angleterre, Hollande, Belgique]

Thème : réaliser des bâtiments publics exemplaires en paille en Europe et développer La filière (\approx 6 millions € sur 4 ans).

Nous recherchons des partenaires...

MERCI DE VOTRE ATTENTION

N'hésitez pas à nous contacter si vous souhaitez plus d'informations
laurent@legabion.org



RFCP

RÉSEAU FRANÇAIS DE LA
CONSTRUCTION PAILLE



MERCI A NOS PARTENAIRES

