

LES ÉCO-MATÉRIAUX EN ÎLE-DE-FRANCE

QUEL DÉVELOPPEMENT, QUELLES INNOVATIONS ?

RENCONTRE POUR L'ESSOR DES FILIÈRES DES MATÉRIAUX BIOSOURCÉS

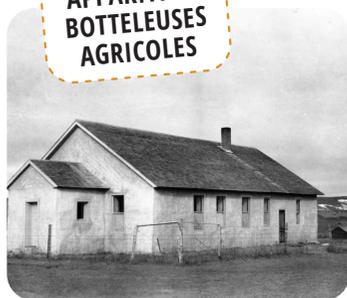
13/06/2024



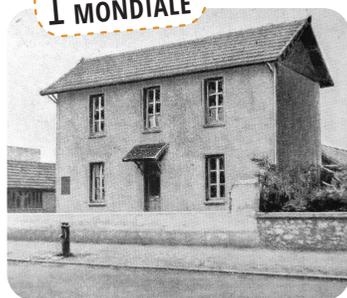
LES ORIGINES DE LA CONSTRUCTION PAILLE

MATÉRIAUX ANCESTRAUX

BOIS
TERRE
PAILLE
PIERRE



APPARITION
BOTTELEUSES
AGRICOLLES

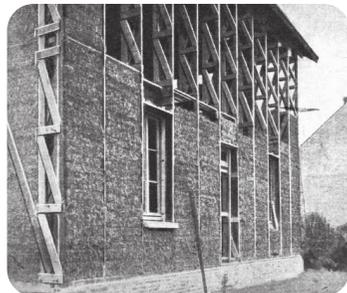


1^{ère}
MONDIALE

CONSTRUCTION
PAILLE



Nebraska
USA



Maison Feuillette
Montargis (45)

RENOUVEAU



La Damassine
Vandoncourt (25)
HAAH architecture

1^{er}
ERP
<1000m²

BÂTIMENT
1^{er}
D'HABITATION
COLLECTIF
>R+2



Résidence Jules Ferry
Saint-Dié-des-Vosges (88)
ASP Architecture

50%
DEMANDENT
DE LA PAILLE

APPELS D'OFFRE MARCHÉS DE TRAVAUX
« À EXIGENCES »

TYPLOGIES
DIVERSITÉ DE BÂTIMENTS



La construction en paille
embrasse toutes les typologies
de bâtis de l'ERP aux
logements collectifs

CONSTRUCTION
PAILLE STRUCTURELLE

CONSTRUCTION
OSSATURE BOIS ET
ISOLATION PAILLE

100 ANS!



DURABLE

1886

1920

1980

2006

2010

2012

2013

2020

2021

2023

En France, du IX^e siècle av. J.-C.
au +Ve siècle ap. J.-C.
CHAUME (paille de seigle, de millet)
TORCHIS (mélange d'argile + paille)



MATÉRIAUX
TRADITIONNELS

CRÉATION



Maison Feuillette
Montargis (45)

FRANCE

+10 000

BÂTIMENTS
CONSTRUITS
EN PAILLE

LE MATÉRIAU PAILLE

◇ UNE RESSOURCE DISPONIBLE ?

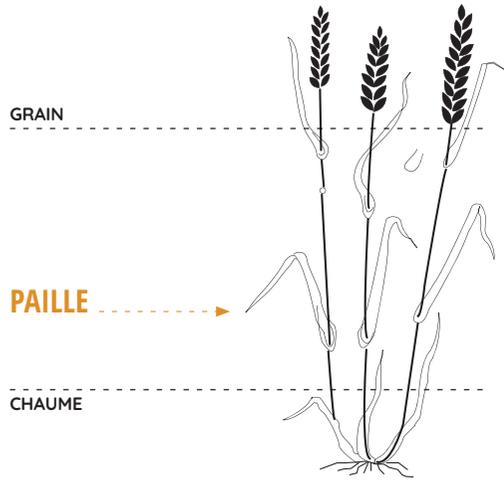
La paille est un co-produit de la production de céréales. La France est le 1er producteur de l'union européenne et le 5ème mondial.

Le volume de paille nécessaire à la construction d'un bâtiment est anecdotique en comparaison du volume de paille produite toutes les ans sur le territoire national.

Les usages agricoles (dont les apports de matière organique) ne sont nullement concurrencés.

◇ DU CHAMP AU BÂTIMENT

Il existe différents types de pailles. Des pailles de blé, orge, seigle, riz, etc. La paille de blé représente 75% de la production nationale. Elle est donc majoritairement utilisée dans la filière construction. L'usage des bottes de paille en tant que matériau isolant performant est vertueux car il valorise une ressource disponible sans production spécifique.



◇ VALORISATION DES USAGES

Dans l'hypothèse où la construction paille représenterait 10% du marché neuf, sur les 20 millions de tonnes de paille produites par an, il ne faudrait qu'1% de ce volume pour répondre au marché de la construction. Il n'y a donc pas de risque de concurrence d'usage entre la construction et les autres emplois de la paille même si les volumes de production peuvent varier d'une année sur l'autre !

20 MILLIONS DE TONNES DE PAILLE * SONT PRODUITES/AN

* Données statistiques, moyenne annuelle de 2018->2021
Toutes céréales hors riz - www.visionet.franceagrimer.fr

1%
DU TOTAL DE PAILLE PRODUITE SUFFIT POUR RÉPONDRE À 10% DU MARCHÉ NEUF

7%
PAILLE SUPPLÉMENTAIRE RESTE DISPONIBLE AU FINAL

51%
USAGES AGRICOLES DE LA PAILLE

Litière animale
Retour au sol différé
Paillage agricole
Production de champignons

41%
RETOUR AU SOL DE LA PAILLE

Réserve de nutriments
Préserve la structure du sol
Lutte contre érosion
Favorise la rétention d'eau

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

◇ LE MATÉRIAU PAILLE, UN ISOLANT TRÈS PERFORMANT



ÉNERGIE

Isoler un bâtiment en paille permet de consommer 25x moins d'énergie que si la même quantité de paille était brûlée pour produire du chauffage.

Source : Étude Élémentaire Conseil - Isolation d'un logement du parc immobilier actuel par des bottes de 36cm - Durée de prise en compte du calcul : 50 ans.

IMPACT CARBONE

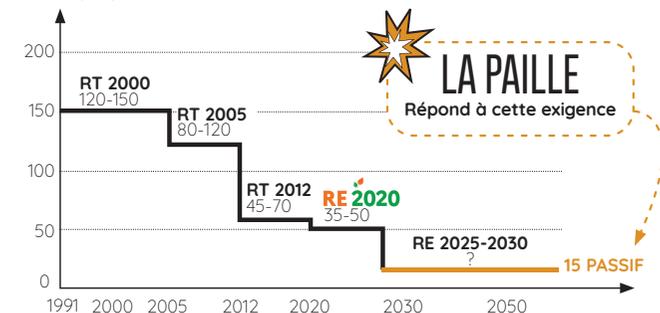
Isoler un bâtiment en paille permet de limiter les émissions de carbone liées au chauffage, à hauteur de 13 x le carbone stocké dans la botte de paille.



DENSITÉ		entre 80 et 120 kg/m ³
DIMENSIONS COURANTES		36 cm x 46 cm x L (55 < L < 120 cm)
Fibres transversales au flux thermique	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE	$\lambda = 0,048$ W/(m.K)
	RÉSISTANCE THERMIQUE	$R = 7.5$ m ² .K/W (botte ep. 36cm)
	COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE	$U = 0,13$ W/(m ² .K) (botte ep. 36cm)
DÉPHASAGE THERMIQUE		entre 12 et 16 heures (botte ep. 36cm)
CAPACITÉ THERMIQUE MASSIQUE		$C_p = 1558$ J/(kg.K)
FACTEUR DE RÉSISTANCE À LA DIFFUSION DE LA VAPEUR D'EAU		$\mu = 1,04$ (Sd = 0,37m) (botte ep. 36cm)
CLASSEMENT DE LA RÉACTION AU FEU		B - S1 - d0 (paille enduite de chaux ou terre crue)
CLASSEMENT DE RÉSISTANCE AU FEU		REI 120 (paille revêtue d'un enduit à base de plâtre et/ou de terre de 4 cm d'épaisseur)
COMPORTEMENT AU FEU DES FAÇADES		4 essais LEPIR II réalisés avec succès
AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE		Rw = -43 dB (botte ep. 36cm enduite de terre crue)
EMPREINTE CARBONE (FDES)		-9.11 kg EqCO₂/m² (source FDES Inies)
ÉTIQUETTE QUALITÉ DE L'AIR		A+

Besoin de chauffage en kWh/m²/an

Évolution de la réglementation thermique
Source : Franck Janin



LE CYCLE DE VIE DE LA PAILLE



PLEIN CHAMPS



MOISSON

- Production majoritaire de paille de blé
- SAISON DE RÉCOLTE : JUILLET & AOÛT
 - Battage : séparation des grains et des épis
 - Rejet de la paille sous forme d'andins



BOTTELAGE



CULTURE CÉRÉALIÈRE

TRANSFORMATIONS

Les andains de paille sont récoltés et peuvent être conditionnés en différents formats directement dans le champs ou en atelier



FORMATS VARIÉS



BOTTE 22cm



BOTTE 36cm



GRANDES BOTTES



PAILLE HACHÉE



PANNEAU DE PAILLE

FIN DE VIE DU BÂTIMENT
 - Réemploi
 - Compostage
 - Valorisation agricole
 - Valorisation énergétique
 - Valorisation du déchet de construction

RECYCLAGE



VIE DU BÂTIMENT



MISE EN OEUVRE



SUR SITE



PRÉFABRICATION

TRANSPORT



CIRCUIT COURT

STOCKAGE

FOURNIR DE LA PAILLE TOUTE L'ANNÉE
LIEUX :
 - Entreprises agricoles
 - Fabricants
 - Négoces
 - Charpentiers



HANGAR



LES QUALITÉS DE LA PAILLE



RENOUVELABLE DURABLE

La paille correspond à la tige de la céréale, sans grain. C'est une ressource locale issue de la production agricole. Elle fait partie de la famille des matériaux biosourcés. C'est un **matériau brut** qui ne nécessite quasiment pas de transformation et ne produit pas de déchet.

Il bénéficie d'un **excellent bilan environnemental** grâce à une énergie grise* très faible. En tant que matériau de construction de proximité, la paille s'inscrit dans une **économie locale durable**.

Aujourd'hui la filière est riche de retours d'expériences avec des bâtiments, pour certains centenaires, qui conservent dans le temps leurs performances et leurs qualités constructives.

La maison « Feuillette », construite en 1920 à Montargis (45), inscrite au patrimoine national est un bel exemple de pérennité de la paille dans les constructions.

Isoler un bâtiment en paille c'est la garantie de ne pas avoir besoin de changer l'isolant tous les 20 ou 30 ans car il aurait mal vieilli.



SAIN

La paille utilisée pour la construction est composée de fibres **100% végétales**, aucun adjuvant n'est nécessaire pour un usage dans la construction. Ainsi, aucun produit chimique n'est introduit lors de la fabrication et de la mise en œuvre.

La paille validée selon les règles professionnelles est un matériau sain qui n'a pas d'impact négatif sur la qualité de l'air intérieur, notamment de part un taux d'humidité contrôlé.

Elle n'émet aucun Composé Organique Volatile (COV) : Rapport d'analyse, bureau Véritas N° D-010713-05230 intitulé : étiquetage des émissions en polluants volatils d'une botte de paille.*

* Source : www.rfcp.fr // Onglet : Ressources réglementaires et normatives



PUITS DE CARBONE

Avec la photosynthèse, les plantes croissent en prélevant du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Les céréales stockent donc naturellement du carbone dans leurs fibres.

Une paroi en botte de paille d'épaisseur 36 cm stocke plus de **9kg de CO₂/m²**

(calcul d'Analyse de Cycle de Vie - ACV)

La paille est un réservoir qui joue le rôle de « puits de carbone ». Elle contribue à diminuer la quantité de CO₂ atmosphérique responsable du réchauffement climatique.

Lorsqu'elle est mise en œuvre dans le bâtiment **elle continue à stocker le CO₂, emmagasiné pendant sa croissance.**

Le secteur de la construction a donc un rôle indispensable à jouer dans la transition écologique du bâti en limitant drastiquement les phénomènes actuels d'émissions de gaz à effet de serre.



RESSOURCE LOCALE

La France est un pays agricole grand producteur de céréales. On trouve de la paille dans presque toutes les régions.

C'est une ressource abondante qui est accessible en circuit court.

La disponibilité du matériau permet un acheminement sur des distances réduites.

Le bilan carbone d'une construction en paille est donc particulièrement exemplaire. Une grande partie des approvisionnements en paille bio ou conventionnelles sont réalisés par des véhicules légers ou des tracteurs.

La paille parcourt en moyenne moins de 75 km entre le champ et le chantier où elle est mise en œuvre.

* Luc Floissac
"FDES paille bio et conventionnelle" 2022



CONFORT THERMIQUE ÉTÉ & HIVER

Pour améliorer le confort thermique d'un bâtiment on s'intéresse à son isolation et au déphasage thermique des matériaux employés.

Le déphasage thermique est le temps que va mettre la chaleur - au sens énergie thermique - pour pénétrer l'intérieur d'un bâtiment. Il représente la capacité d'un matériau à ralentir la pénétration de la chaleur.

La botte de paille est l'un des isolants les plus performants car son déphasage est compris entre 12h et 16h pour une botte de 36 cm.

En été, une maison isolée avec de la paille et des enduits en terre conservera une température intérieure fraîche contrairement à une construction conventionnelle. En hiver, la résistance thermique du matériau offrira une isolation optimale.

Le confort thermique intérieur du bâtiment est garanti.



CONFORT HYGROTHERMIQUE

Le confort hygrothermique caractérise la température et le taux d'humidité de l'air ambiant d'un local qui sont idéaux pour la santé des habitants et des infrastructures. Assurer un confort hygrothermique signifie assurer une température constante en toutes saisons, un taux d'humidité de 40 à 60 % et une différence maximale de température entre l'air intérieur et les parois de 3°C.

En plus de ses performances thermiques, **la paille est un matériau perspirant.** C'est à dire qu'elle absorbe et évacue naturellement l'humidité.

Une paroi composée d'une isolation en paille offre un transfert d'humidité 100 fois supérieur à celui du béton de ciment.

Elle permet de réguler le taux d'humidité à l'intérieur d'un bâtiment et d'offrir une qualité d'air supérieure à tous les matériaux conventionnels.



LES QUALITÉS DE LA PAILLE



CONFORT ACOUSTIQUE

Lorsque l'isolation en paille est associée aux finitions extérieures et intérieures, il est possible d'atteindre les performances réglementaires.

Le complexe de la paroi extérieure doit être conçu en fonction de l'environnement où s'implante le bâtiment.

Les finitions comme les enduits épais appliqués sur la paille ou les bardages permettent de renforcer les performances acoustiques notamment sur les graves (200 à 250Hz).

Les parois composées d'isolation paille agissent phoniquement suivant un effet dit masse ressort masse ; l'isolation phonique peut atteindre R_w 57 dB ($R_w + C_{tr}$ 52 dB) avec une botte de paille d'épaisseur 36cm renforcée sur sa face extérieure.



RÉSISTANTE AU FEU

La résistance au feu est la capacité d'un élément de construction à jouer le rôle qui lui est dévolu, en situation d'incendie pendant un temps donné.

La paille compressée en bottes denses ne s'enflamme pas par manque d'oxygène. Elle se consume très lentement en dégageant une faible quantité de fumée*.

Il existe différents modes constructifs mettant en œuvre de la paille qui répondent aux exigences de la réglementation incendie selon les différentes familles de bâtiments.

Les essais de réaction au feu menés en France et à l'étranger attestent que les murs composés d'une isolation en paille sont conformes à la réglementation.

La paille une fois mise en œuvre offre une bonne sécurité contre l'incendie.

* Source : www.rfcp.fr / Onglet : Ressources réglementaires et normatives
Le classement de réaction au feu d'un mur en bottes de paille enduit chaux (EN 13501-1:2007) est : **B-S1-do**



LA PAILLE ET L'EAU

La paille est un matériau perspirant qui a la propriété de laisser migrer la vapeur d'eau. Les retours d'expérience montrent la grande longévité de la paille même dans des conditions délicates d'humidité (capacité de sécher). Néanmoins, comme pour tous les matériaux isolants biosourcés, la paille doit être protégée de l'eau liquide en lui permettant de l'évacuer. Si de l'eau liquide stagne dans le matériau, elle risque d'entraîner sa dégradation. Les règles pro indiquent comment mettre en œuvre la paille afin d'éviter tout risque de condensation et donc de présence d'eau liquide prolongée dans le matériau. Elles précisent que les bottes de paille doivent présenter une teneur en eau sur poids sec <20% et doivent être mises à l'abri de l'eau liquide lors de leur stockage et de leur mise en œuvre. Les propriétés de la paille participent donc à réguler, sans se dégrader, les conditions d'humidité de nos bâtiments pour les rendre ainsi plus sains et confortables.

* Source : www.rfcp.fr / Facteur de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau $\mu=1.04$



RÉSISTANTE AUX RONGEURS

La paille de céréales est composée des tiges dépouillées de leurs graines. **Elle ne présente aucun intérêt alimentaire pour les rongeurs qui délaissent ses tiges.**

Contrairement aux isolants minéraux ou issus de la pétrochimie, la forte densité de la paille rend difficilement possible la création de galerie par les rongeurs. **Il n'y a donc pas de risque de dégradation.**

Lorsque la paille est mise en œuvre avec des enduits ou dans des caissons préfabriqués elle est inaccessible aux rongeurs.



RÉSISTANTE AUX INSECTES

La botte de paille posée suivant les règles professionnelles ne peut constituer ni un aliment ni un habitat pour les insectes. En effet, **la densité et l'absence de grain créent un milieu impropre au développement d'insectes.**

Les rapports d'essais réalisés par le RFCP en 04/10/2010, concernant la vérification de l'appétence des termites vis à vis de la paille, précise :

«La paille est un aliment insuffisant d'un point de vue nutritif pour permettre à un groupe de termites de survivre sans apport de bois.»

Si toutes les précautions sont prises concernant la mise en œuvre, le risque est écarté.

* Source : www.rfcp.fr / Onglet : Ressources réglementaires et normatives



PRIX DE LA PAILLE

Le matériau «botte de paille» est l'un des plus abordables du marché.

La filière est en pleine expansion, **le coût d'un projet neuf ou d'un projet en réhabilitation se trouve dans la fourchette moyenne haute du marché.** Le coût global pouvant varier suivant la taille du projet.

Le coût d'investissement doit être envisagé sur un «long terme» avec une logique de coût global. **Construire un bâtiment isolé avec de la paille permet de s'extraire de la dépendance énergétique** et donc de faire d'importantes économies sur les factures de chauffage et de climatisation.

A titre indicatif, une maison de 100 m² isolée en paille et bien conçue consommera moins de 3 stères par an. Et si la conception va encore plus loin, avoir un poêle à bois n'est même plus nécessaire.

BOTTES DE PAILLE MISES EN ŒUVRE SUR SITE



BOTTES DE PAILLE MISES EN ŒUVRE EN ATELIER : PRÉFABRICATION DE PAROIS

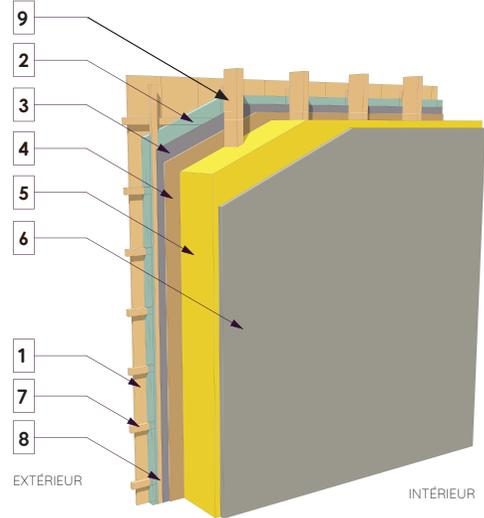




LES TECHNIQUES COURANTES

Les mises en œuvre avec remplissage en bottes de paille

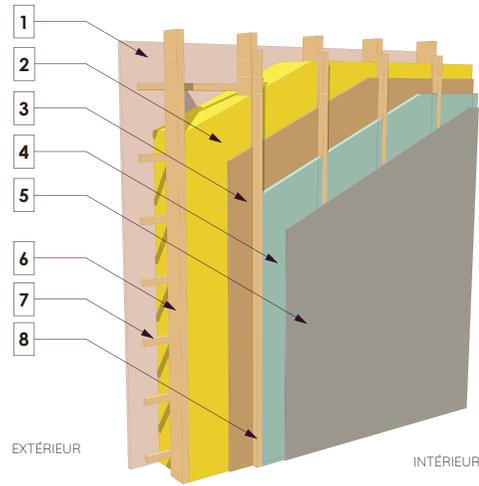
◇ MUR À REMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE AVEC OSSATURE BOIS SIMPLE DÉSAXÉE VERS L'EXTÉRIEUR



- 1. Bardage
- 2. lame d'air ventilée
- 3. Pare pluie
- 4. Contreventement
- 5. Bottes de paille
- 6. Enduit terre
- 7. Contre-liteaux
- 8. Liteaux
- 9. Montants de 45x145 mm

Épaisseur de la paroi : 48,90 cm
Poids : 102 kg/m²
Résistance thermique 7,8 m²·K/W
Facteur de transmission de la chaleur (extérieur vers l'intérieur) : 0,95%
Déphasage thermique des ondes de chaleur > 17h
Bilan carbone paroi : +6,41 kg eq. CO₂ / m²

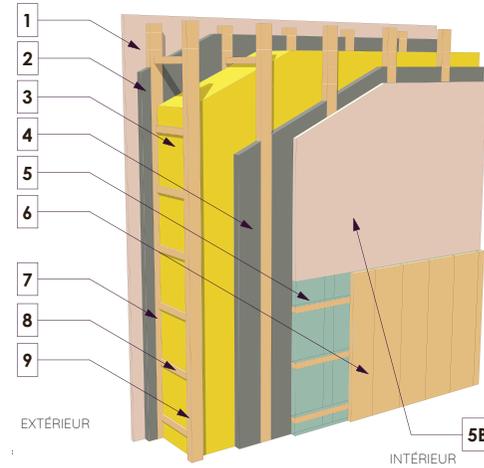
◇ MUR À REMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE AVEC OSSATURE BOIS SIMPLE DÉSAXÉE VERS L'INTÉRIEUR



- 1. Enduit à la chaux
- 2. Bottes de paille
- 3. Panneau contreventement & frein vapeur
- 4. Vide technique
- 5. Parement intérieur
- 6. Montants
- 7. Liteaux (maintien bottes)
- 8. Liteaux (support parement intérieur)

Épaisseur de la paroi : 47,30 cm
Poids : 137 kg/m²
Résistance thermique : 7,7 m²·K/W
Facteur de transmission de la chaleur (extérieur vers l'intérieur) : 1,02 %
Déphasage thermique des ondes de chaleur > 17h
Bilan carbone paroi : +6,34 kg eq. CO₂ / m²

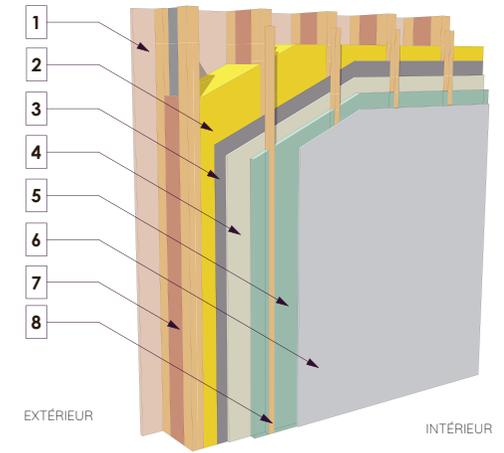
◇ MUR À REMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE AVEC DOUBLE OSSATURE BOIS EXTERNE (GREB)



- 1. Bardage bois
 - 2. Pare pluie rigide
 - 3. Paille
 - 4. Mortier coulé
 - 5. Vide technique
 - 6. Parement
 - 7. Montant
 - 8. Liteau ou feuillard
 - 9. Montant
- Variante
 1. Enduit chaux
 2. Mortier coulé
 3. Paille
 4. Mortier coulé
 5b. Enduit chaux
 6. Bardage
 7. Montant extérieur
 8. Liteau ou feuillard
 9. Montant intérieur

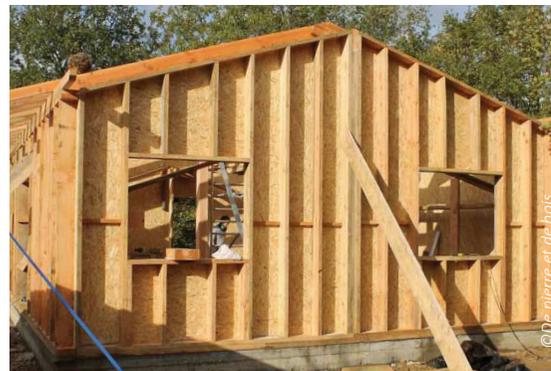
Épaisseur de la paroi : 53 cm
Poids : 287 kg/m²
Résistance thermique : 7,7 m²·K/W
Facteur de transmission de la chaleur (extérieur vers l'intérieur) : 0,39 %
Déphasage thermique des ondes de chaleur > 21h
Bilan carbone paroi : +11,85 kg eq. CO₂ / m²

◇ MUR À REMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE AVEC OSSATURE TRAVERSANTE ET VIDE TECHNIQUE



- 1. Enduit chaux
- 2. Botte de paille
- 3. Frein vapeur
- 4. Plaque
- 5. Vide technique
- 6. Parement
- 7. Poutre en I & complément d'isolation
- 8. Liteau

Épaisseur de la paroi : 47,40 cm
Poids : 124 kg/m²
Résistance thermique : 7,7 m²·K/W
Facteur de transmission de la chaleur (extérieur vers l'intérieur) : 1,04 %
Déphasage thermique des ondes de chaleur > 17h
Bilan carbone paroi : +5,95 kg eq. CO₂ / m²



© De pierre et de bois

© Approche Paille

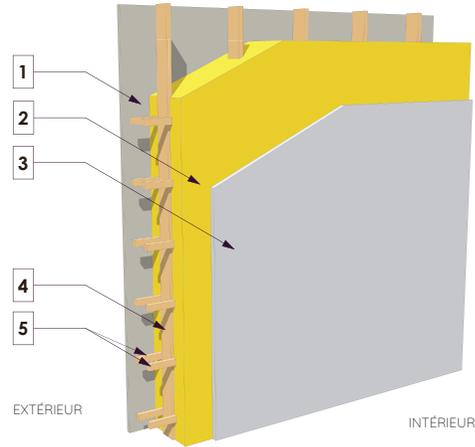
© Ville de Paris



LES TECHNIQUES COURANTES

Les mises en œuvre avec remplissage en bottes de paille

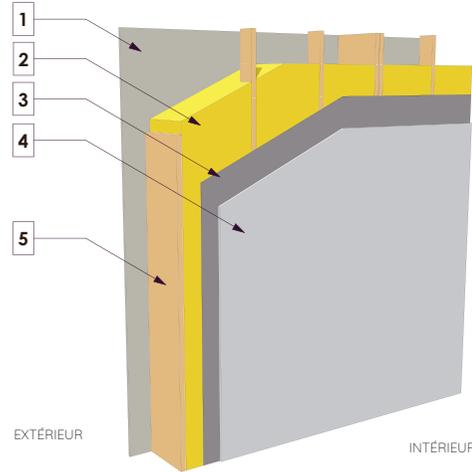
◇ MUR À REMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE AVEC OSSATURE LÉGÈRE CENTRÉE NON PORTEUSE



1. Enduit chaux
2. Botte de paille
3. Enduit terre
4. Montant
5. Litageau

Épaisseur de la paroi : 43,50 cm
Poids : 147 kg/m²
Résistance thermique : 7,3 m²·K/W
Facteur de transmission de la chaleur (extérieur vers l'intérieur) : 1,25 %
Déphasage thermique des ondes de chaleur > 16h
Bilan carbone paroi : +10,56 kg eq. CO₂ / m²

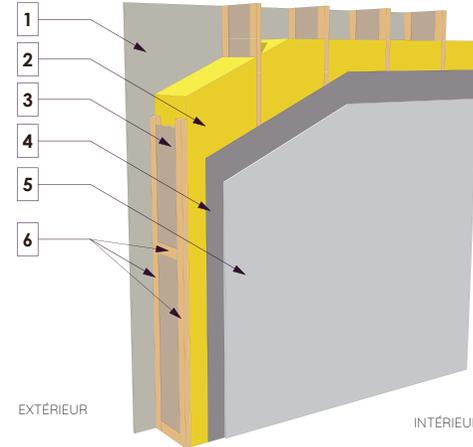
◇ CAISSON À REMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE AVEC OSSATURE BOIS LMC (LAMELLÉ-COLLÉ) FILANT



1. Pare pluie rigide et perspirant
2. Paille
3. Frein vapeur
4. Parement
5. Montant LMC

Épaisseur de la paroi : 40,30 cm
Poids : 61 kg/m²
Résistance thermique : 7,7 m²·K/W
Facteur de transmission de la chaleur (extérieur vers l'intérieur) : 1,14 %
Déphasage thermique des ondes de chaleur > 17h
Bilan carbone paroi : -9,16 kg eq. CO₂ / m²

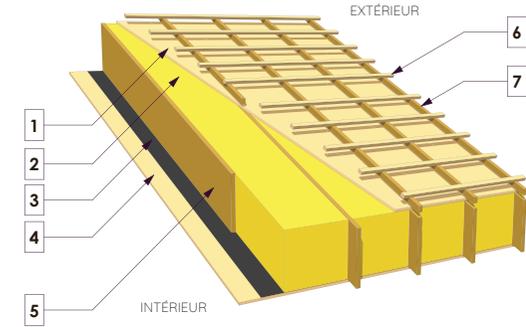
◇ CAISSON À REMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE AVEC DOUBLE OSSATURE BOIS



1. Pare pluie rigide perspirant
2. Botte de paille
3. Isolant complémentaire
4. Frein vapeur
5. Contreventement
6. Montant

Épaisseur de la paroi : 40,30 cm
Poids : 53 kg/m²
Résistance thermique : 7,7 m²·K/W
Facteur de transmission de la chaleur (extérieur vers l'intérieur) : 1,14 %
Déphasage thermique des ondes de chaleur > 17h
Bilan carbone paroi : -8,75 kg eq. CO₂ / m²

◇ TOITURE À STRUCTURE BOIS AVEC REMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE



1. Pare pluie rigide et perspirant
2. Paille
3. Frein vapeur
4. Panneau rigide
5. Chevron
6. Contre lattage
7. Lattage

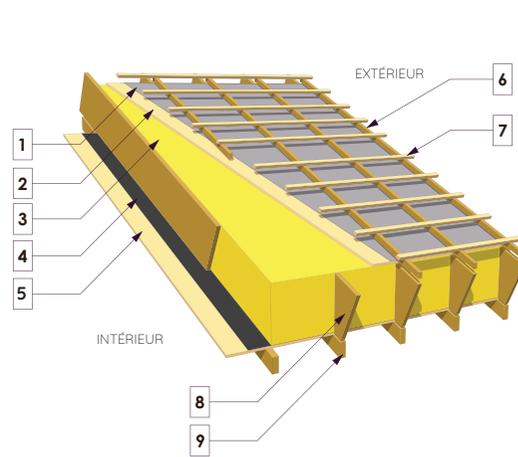
Épaisseur de la paroi : 40,30 cm
Poids : 64 kg/m²
Résistance thermique : 7,7 m²·K/W
Facteur de transmission de la chaleur (extérieur vers l'intérieur) : 1,14 %
Déphasage thermique des ondes de chaleur > 17h
Bilan carbone paroi : -8,86 kg eq. CO₂ / m²



LES TECHNIQUES COURANTES

Les mises en œuvre avec remplissage en bottes de paille

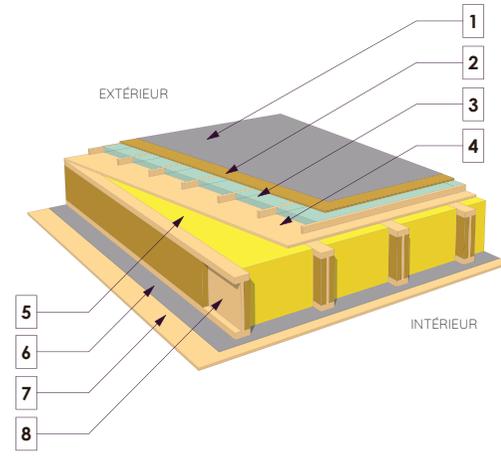
TOITURE AVEC REMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE SUR LA STRUCTURE BOIS



1. Pare pluie
2. Volige
3. Paille
4. Frein vapeur
5. Panneau de support
6. Lattage
7. Contre lattage
8. Raidisseur
9. Chevron

Épaisseur de la paroi : 40,40 cm
Poids : 74 kg/m²
Résistance thermique : 7,5 m².K/W
Facteur de transmission de la chaleur (extérieur vers l'intérieur) : 1,09 %
Déphasage thermique des ondes de chaleur > 18h
Bilan carbone paroi : -6,42 kg eq. CO₂ / m²

TOITURE TERRASSE AVEC REMPLISSAGE EN BOTTES DE PAILLE ET PLATELAGE VENTILE



1. Membrane d'étanchéité
2. Platelage
3. Lame d'air ventilée
4. Panneau rigide et perspirant
5. Paille
6. Frein vapeur
7. Parement
8. Poutre en I & complément d'isolation

Épaisseur de la paroi : 46,80 cm
Poids : 73 kg/m²
Résistance thermique : 8,1 m².K/W
Facteur de transmission de la chaleur (extérieur vers l'intérieur) : 0,83 %
Déphasage thermique des ondes de chaleur > 18h
Bilan carbone paroi : +10,32 kg eq. CO₂ / m²

LES RÈGLES PROFESSIONNELLES

Il existe plus de **10 000 bâtiments isolés** avec de la paille en France. Toutes les typologies sont représentées : logements individuels et collectifs, écoles et gymnases, bâtiments agricoles, industriels et tertiaires.

UNE ŒUVRE COLLÉGIALE

Le Réseau Français de la Construction Paille (RFCP) a vu le jour en 2006 avec la volonté de promouvoir et de faire reconnaître l'usage de la paille dans le bâtiment.

Dès sa création, le RFCP s'est attaché à réunir les différents acteurs français de la filière afin de mettre en commun leurs retours d'expérience pour rédiger des « Règles Professionnelles de Construction en Paille » qui ont été approuvées le 28 juin 2011 par la C2P (Commission Prévention Produit), organe de l'AQC (Agence Qualité Construction) qui fédère les professionnels autour des bonnes pratiques.

Ces règles sont le fruit d'un travail collaboratif, l'aboutissement d'un consensus professionnel.

UN CADRE RÉFÉRENTIEL

Ces règles constituent le **cadre référentiel applicable en France**. Elles définissent les **règles de conception et de mise en œuvre à appliquer** pour l'utilisation de bottes de paille en tant que remplissage isolant et support d'enduits. Les techniques décrites sont appelées « **techniques courantes** » et sont assurables comme n'importe quel type de technique constructive.

Ce texte qui a fait l'objet d'un **suivi d'expériences pendant 4 ans**, a permis de démocratiser la construction en paille grâce à l'assurabilité des entreprises et des bâtiments. En 2017, les règles professionnelles sont passées en liste verte de la C2P. La mise en œuvre de matériaux de construction doit être réalisée par des entreprises qualifiées. **Le RFCP a mis en place un référentiel de plusieurs formations.**

La formation « **Pro-Paille** » couvre les pratiques décrites dans les Règles Professionnelles et permet aux professionnels de se former pendant 5 jours. À ce titre, les concepteurs (architectes, bureaux d'études) et les entreprises de construction de bâtiments en paille qui le demandent, peuvent bénéficier de barèmes d'assurance standards (décennale notamment), à condition de respecter les règles de conception et de mise en œuvre préconisées dans les Règles Professionnelles.

LE CONTENU

L'ouvrage détaille les éléments suivants :

- Les propriétés du matériau botte de paille ;
- Les contrôles à effectuer sur les bottes de paille pour s'assurer de leur qualité ;
- Les systèmes constructifs liés à l'usage de la paille (ossatures, isolation) ;
- La gestion des interfaces entre corps d'état (menuiseries, équipements techniques) ;
- Les mises en œuvre des parois, des enduits, des bardages et des vêtements.

De nombreux documents pratiques sont proposés en annexe de ces Règles Professionnelles : cahier des charges, bordereaux, procédures et fiches de contrôle qualité, méthodes de calcul, cartes des conditions climatiques, etc.

Deux autres « Règles Professionnelles » sont en cours de rédaction :

- L'ITE paille
- Paille porteuse (portée par l'asso. Nebraska)



LES TECHNIQUES NON COURANTES

L'isolation thermique par l'extérieur - I.T.E.

**RÈGLES PRO
EN COURS !**

◇ CONTEXTE & ENJEUX

Un des principaux leviers de réduction des émissions de gaz à effet de serre est la **rénovation énergétique des bâtiments existants**, dont la consommation représente 30% des émissions globales. En France, près de 4,8 millions de bâtiments sont considérés comme des «passoires thermiques», l'enjeu est donc essentiel. Le secteur de la construction a un rôle central à jouer dans la lutte contre le dérèglement climatique. **Une meilleure isolation des constructions contribue à diminuer leurs dépendances énergétiques.**

La paille est déterminante dans cet objectif. C'est un **matériau isolant performant** qui peut être utilisé en construction neuve et pour la rénovation énergétique du bâti existant. Elle peut remplacer les isolants issus de la pétrochimie ou de technologies fortement émettrices et consommatrices de ressources.

C'est à la fois un **matériau isolant performant** pour le confort d'hiver et son déphasage thermique est un atout majeur pour améliorer le confort d'été. **La paille reste perméable à la vapeur d'eau** et n'affecte pas le transfert de vapeur d'eau de la paroi. Elle permet par ailleurs un chantier sain et à faible nuisance. Elle est également adaptée à la rénovation en milieu occupé. La pérennité du matériau est également l'un de ses atouts majeurs. Le plus vieux bâtiment construit en France métropolitaine **a plus de 100 ans et il conserve toutes ses performances.**

Dans le cadre d'une **rénovation énergétique**, une ITE en bottes de paille s'avère être un excellent choix et pour plusieurs raisons :

- Un bâtiment mieux isolé, est un **bâtiment moins énergivore**. C'est une baisse significative des besoins de chauffage, de climatisation et donc de

dépendances aux énergies fossiles.

- **Des travaux de ravalement peuvent permettre de valoriser un bâti** avec une nouvelle écriture architecturale (bardage bois sur un bâtiment qui a toujours eu de l'enduit par exemple)

- **L'investissement financier dans une isolation pérenne c'est aussi la garantie d'une plus-value au moment de la revente.**

Pour limiter l'empiètement lorsque c'est une contrainte, il est possible de mettre en œuvre des bottes de paille de 22 cm. La rénovation énergétique du bâtiment restera supérieure aux exigences réglementaires ($R = 4,2 \text{ W/m}^2\text{k}$).

Mais avec des bottes de 37 cm, on peut atteindre les exigences du passif !

◇ CADRE NORMATIF

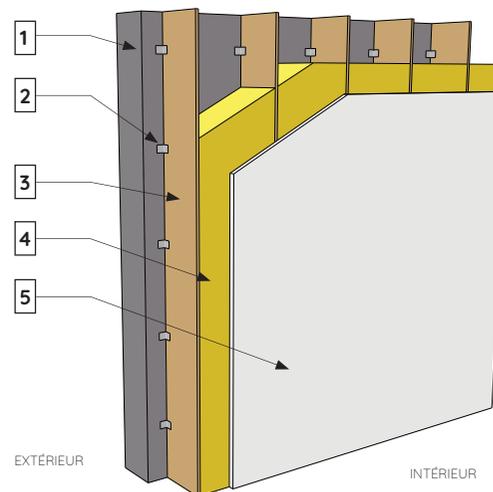
La majorité des éléments techniques nécessaires à la réalisation d'une ITE Paille sont décrits dans «les Règles Professionnelles CP2012».

Un référentiel spécifique à l'ITE paille est en cours de rédaction. Ce cadre normatif vise à rajouter notamment la reconnaissance et le diagnostic d'une paroi support, l'analyse de ses propriétés hygrométriques et sa capacité à recevoir des charges. Il s'agit d'une des priorités du RFCP.

La montée des exigences en termes de rénovation thermique et l'élan actuel pour l'ITE paille, avec **des projets de plus en plus nombreux et ambitieux**, est encourageante pour la publication d'un nouveau texte de référence, co-écrit par l'ensemble des professionnels du domaine.

◇ ITE AVEC STRUCTURE BOIS VERTICALE

Mise en œuvre possible avec des bottes de 37 ou 22cm



1. Mur existant
2. Equerres de fixation
3. Structure bois traversante
4. Bottes de paille
5. Enduit chaux, vêtture ou bardage

Épaisseur de l'enveloppe ajoutée : 41 cm environ 37 cm botte de paille + 4 cm enduit

Poids enveloppe ajouté : 36 kg/m² paille + enduit terre/chaux 80kg/m² 130kg/m² environ

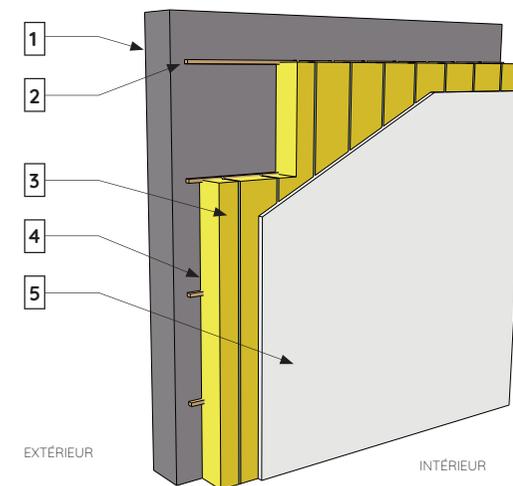
Résistance thermique : 7,1 m²K/W

Déphasage thermique ajouté 12-16h

Bilan carbone paroi : -14 kg EqCO₂/m²

◇ ITE PLAQUÉE SUR PAROI EXISTANTE

Mise en œuvre possible avec des bottes de 37 ou 22cm



1. Mur existant
2. Liteaux fixés à la maçonnerie
3. Feuillets de cerclage ou rosace
4. Bottes de paille
5. Enduit chaux, vêtture ou bardage

Épaisseur de l'enveloppe ajoutée : 26 cm environ 22 cm + 4 cm enduit

Poids enveloppe ajouté : 36 kg/m² paille + enduit terre/chaux 80kg/m² 130kg/m² environ

Résistance thermique : 7,1 m²K/W

Déphasage thermique ajouté 12-16h

Bilan carbone paroi : -8,6 kg EqCO₂/m²





LES TECHNIQUES NON COURANTES

La paille porteuse

◇ CONTEXTE & ENJEUX

Aujourd'hui, la filière bois tire la sonnette d'alarme, si rien n'est fait, d'ici 2050, l'augmentation de l'éco construction va contraindre la France à importer 1/3 de son bois de construction.

Les forêts françaises sont constituées à 75 % de feuillus et dans le secteur du bâtiment on utilise à 75 % des bois de résineux. Le bâtiment doit transformer ses pratiques pour se tourner vers l'emploi des bois de feuillus.

Face à cette problématique, il est important de développer d'autres modes constructifs plus économes en bois, d'où l'intérêt de la paille porteuse.

Cette technique, portée depuis les années 2000 par les membres de l'association Nebraska, permet de remplacer le rôle mécanique du bois par la paille et ainsi d'utiliser 2 à 4 fois moins de bois que les solutions en simple ou double ossature bois pour la réalisation de parois opaques.

◇ CADRE NORMATIF

L'un des freins au développement de la filière concerne la réglementation.

En France les professionnels du bâtiment ont l'obligation de contracter une assurance décennale.

Les assureurs évaluent les risques sur la base des documents normatifs (DTU, règle de l'art, règles professionnelles). En dehors des textes normatifs, il est très complexe de convaincre un assureur puisqu'il n'a pas de références sur lesquelles s'appuyer.

Sans cadre réglementaire pour encadrer la mise en œuvre de la paille porteuse, la filière est limitée dans son développement.

L'association Nebraska est, à ce jour, la seule à avoir obtenu une assurance décennale pour la réalisation d'études structurelles et la mise en œuvre de la paille porteuse, grâce à une longue négociation auprès de leur assureur.

Il est donc urgent de publier un cadre référentiel pour la Construction en Paille Porteuse, et permettre le développement des projets construits avec cette technique.

Pour cela, l'association Nebraska en partenariat avec le RFCP a placé au centre de ses objectifs la rédaction de Règles Professionnelles dédiées à la construction en Paille Porteuse et travaille depuis plusieurs années avec un groupe d'une vingtaine de professionnels sur le sujet. L'objectif étant à terme d'accompagner d'autres entreprises à obtenir une assurance décennale.

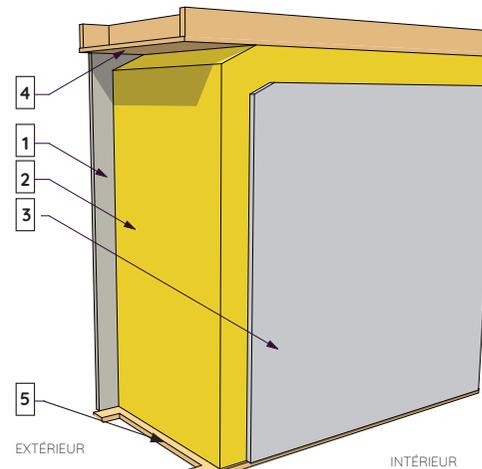
Le texte a été déposé en Juin 2023 à l'Agence Qualité Construction (AQC) qui est une association dont la vocation est la prévention des désordres et l'amélioration de la qualité de la construction. L'AQC dispose de 3 commissions spécialisées :

- La Commission Observation,
- La Commission Prévention Construction (CPC),
- La Commission Prévention des Produits mis en œuvre (C2P) qui a pour mission d'identifier, pour chaque famille de produits de construction, les techniques risquant d'engendrer des sinistres.

L'année 2024 portera sur des essais mécaniques complémentaires (feu, sismiques, eau, etc.) et sur la caractérisation des enduits structuraux (terre, chaux, etc.).

Les enduits participent à la réponse structurelle des murs, ils jouent un rôle important dans sa rigidité, son élasticité et sa résistance à la compression.

MUR PORTEUR AVEC GROSSES BOTTES DE PAILLE



1. Enduit chaux
2. Grosses bottes de paille
3. Enduit terre (à l'intérieur)
4. Lisse haute en bois et entretoises
5. Lisse basse en bois et entretoises

Dimension d'une grosse botte de paille :
Largeur 120 cm
Hauteur 70 cm
Longueur 240 cm

Épaisseur de la paroi : 128 cm

Poids : 425 kg/m²

Résistance thermique : 15,3 m²K/W

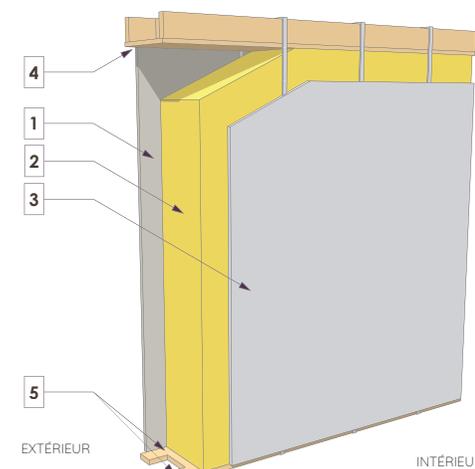
Facteur de transmission de la chaleur

(extérieur vers l'intérieur) : 0,00 %

Déphasage thermique des ondes de chaleur > 53h

Bilan carbone paroi : -7,45 kg eq. CO₂ / m²

MUR PORTEUR AVEC PETITES BOTTES DE PAILLE



1. Enduit chaux
2. Petites bottes de paille
3. Enduit terre (à l'intérieur)
4. Lisse haute en bois et entretoises
5. Lisse basse en bois et entretoises
6. Sangle de compression définitive

Dimension d'une petite botte de paille :
Largeur 46 cm
Hauteur 36 cm
Longueur 90<L<110 cm

Épaisseur de la paroi : 54 cm

Poids : 217 kg/m²

Résistance thermique : 8,85 m²K/W

Facteur de transmission de la chaleur

(extérieur vers l'intérieur) : 0,97 %

Déphasage thermique des ondes de chaleur > 47h

Bilan carbone paroi : +11,76 kg eq. CO₂ / m²



LES 3 OBJECTIFS DE LA NOUVELLE RÉGLEMENTATION ENVIRONNEMENTALE



ÉNERGIE

Sobriété énergétique
Décarbonation de l'énergie
Bâtiment très performant



ENVIRONNEMENT

Réduction de l'empreinte carbone des bâtiments neufs



CONFORT D'ÉTÉ

Amélioration du confort en cas de fortes chaleurs

Bbio : Besoins Bioclimatiques

- Inertie & Orientations
- Forte compacité
- Isolation renforcée

Cep : Conso énergie primaire

- Choix des systèmes constructifs
- Éclairage naturel
- Système énergétiques performants (chauffage + ECS + rafraîchissement + éclairage + VMC)

Cep nr : part non renouvelable des conso en énergie primaire

- Privilégier les sources d'énergie renouvelables

IC construction (kg eq CO₂/m²) Impact carbone des matériaux, équipements et phase chantier

- Inventaire des matériaux
- Dimensionnement visant la sobriété
- Choix des matériaux qui possèdent des FDES
- Privilégier les FDES les moins impactantes en CO₂

DH-Degrés-heures Indicateur de confort estival

- Prise en compte des phénomènes de canicule
- Volumes traversants
- Brasseurs d'air
- Protections solaires passives (brise-soleil, casquettes, volets persiennes)
- Volet roulant motorisé asservi, crépusculaire

ACV DYNAMIQUE

IC énergie (kg eq CO₂/m²) Impact carbone des consommations d'énergie

- Forte importance du système énergétique ++
- Privilégier les mixtes énergétiques
- Sorties des énergies fossiles



ANALYSE DU CYCLE DE VIE DU BÂTIMENT (ACV)

2 indicateurs de carbone réglementaire :

IC construction (kg eq CO₂/m²) et IC énergie (kg eq CO₂/m²)

- Une évaluation de l'impact environnemental sur le cycle de vie du bâtiment
- Période d'étude de 50 ans

Quantités
Composants (unités, m², ml...)
Energies (Kxh consommés)

X



X

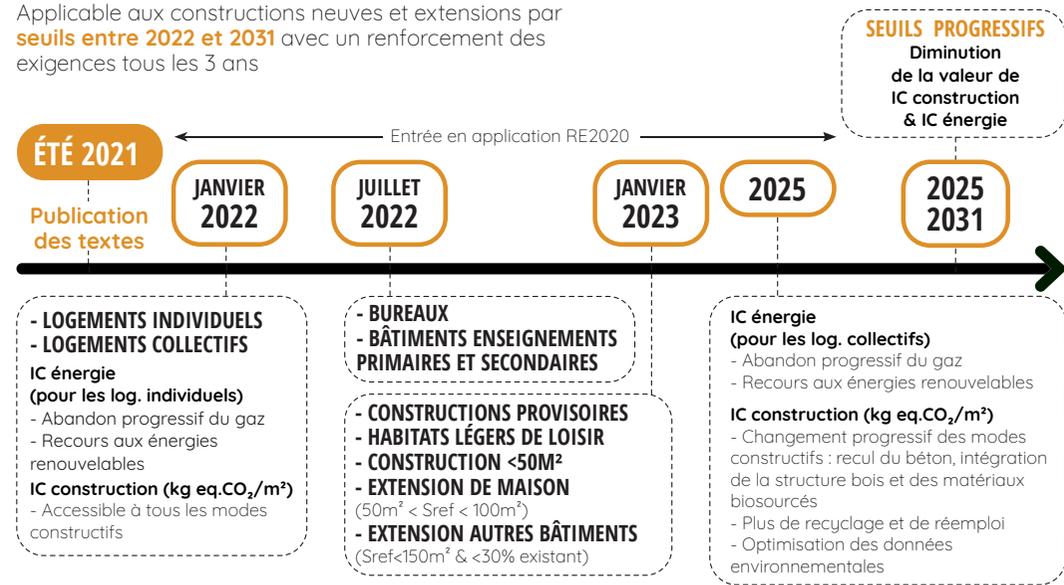
Taux de renouvellement sur 50 ans

IMPACT CARBONE
(kg CO₂/m²)

Source : APAVE

CALENDRIER DE MISE EN APPLICATION

Applicable aux constructions neuves et extensions par seuils entre 2022 et 2031 avec un renforcement des exigences tous les 3 ans



LA PERTINENCE DE LA PAILLE

La paille répond en tout point aux exigences de la RE2020. Sur le volet de la résistance thermique, la paille est tellement performante qu'elle permet de construire des bâtiments passifs.

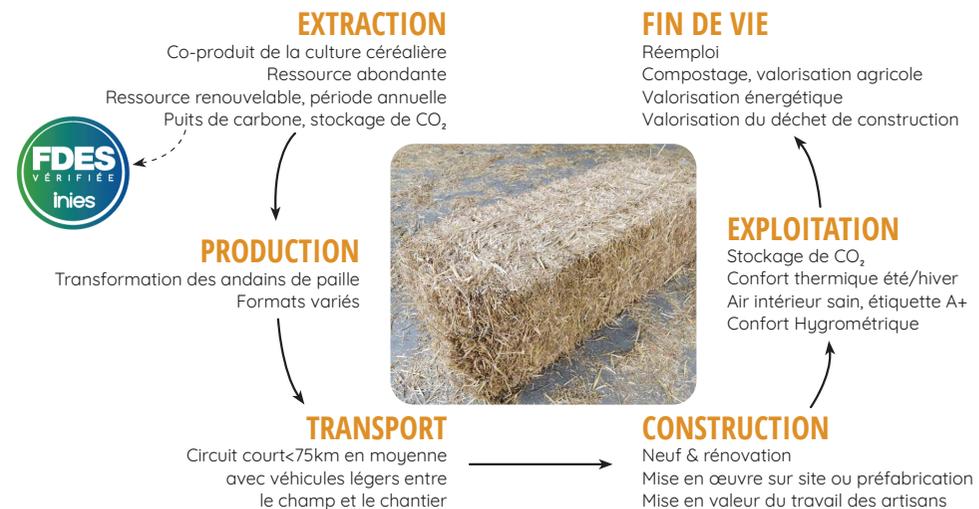
ÉNERGIE
R = 7.5 m².K/W
(botte ep. 36cm)



ENVIRONNEMENT
-9.11 KG EqCO₂/m²
(source FDES Inies)



CONFORT D'ÉTÉ
Entre 12h et 16h
(botte ep. 36cm)



LES QUALITÉS DES ENDUITS TERRE



MATÉRIAU SAIN & RÉVERSIBLE

La terre crue est un **matériau brut** sans adjuvant ni cuisson.

C'est un **matériau naturel** qui peut s'associer à la paille sous forme d'un enduit posé en plusieurs couches sur les fibres.

Les enduits terre contribuent à **améliorer la qualité de l'air intérieur**. Une terre propre ne dégagera aucune substance nocive pendant sa mise en œuvre ni pendant sa durée de vie.

Ce matériau est intéressant pour son côté **réversible**. Pour réparer un trou dans un mur par exemple, il suffit de réhumidifier la terre et de la remodeler.



MATÉRIAU CIRCUIT COURT

La terre est présente partout. Quasiment l'ensemble des terres du territoire national conviennent pour la réalisation des enduits. Si la terre est trop argileuse, on peut lui ajouter du sable ou de la fibre et à l'inverse si elle est trop sableuse, un apport en argile pourra l'équilibrer.

Les particuliers et professionnels peuvent se fournir en matières premières de différentes façons :
- Soit les terres sont **issues du terrassement du chantier lui-même**,
- Soit il s'agit de **terres locales de réemploi ou de remblais**,
- Ou des **terres de carrières**.

Ces terres peuvent être livrées en enduit prêt à l'emploi ou formulées sur site, grâce au savoir-faire de l'artisan.

Cependant il est important de garder à l'esprit que plus courte sera la distance entre la source et le chantier, **plus faible sera l'impact carbone du matériau sur l'environnement**.



CONFORT HYGROMÉTRIQUE

La terre crue est un **excellent régulateur d'humidité** car c'est un matériau **ouvert à la vapeur d'eau**.

Grâce aux argiles qu'elle contient, la terre possède un pouvoir absorbant important.

Utilisée en enduits intérieurs, la terre est **capable d'absorber le surplus d'humidité** d'une pièce. Par exemple, dans une salle de bain, 2-3 cm permettent de réguler les problèmes de condensation.

La terre est également **capable** de libérer de l'eau pour équilibrer un air trop sec.

Seulement 2 cm d'épaisseur de terre crue sur les murs (en enduit ou panneaux d'argile) apportent du confort à l'intérieur d'un bâtiment.



CONFORT THERMIQUE ÉTÉ & HIVER

La terre crue utilisée seule ne possède pas de propriété thermique, le matériau n'est pas très isolant. Par contre, les enduits terre appliqués sur des bottes de paille en intérieur permettent d'avoir une inertie thermique très intéressante pour le **confort d'été**, en gardant les maisons fraîches en période estivale.

En hiver, les enduits terre associés à des fibres permettent d'emmagasiner de la chaleur et **d'harmoniser les températures dans une pièce**.

Utilisés lors de rénovation, les enduits en terre crue jouent un rôle important sur le ressenti. Posés sur des murs existants en pierre ou béton, ils permettent de **supprimer les effets de parois froides**.

Posé en extérieur, un enduit en terre/chaux protège le support des intempéries, notamment des pénétrations d'eau et participe à l'esthétique de la façade.



CONFORT ACOUSTIQUE & ESTHÉTIQUE

Les enduits en terre crue ont pour propriété d'absorber les ondes. Ils sont recommandés pour atténuer les effets d'écho dans une pièce vide par exemple. Le type de finition de l'enduit aura un impact plus ou moins important sur la réverbération acoustique souhaitée dans une pièce. **Plus l'enduit est rugueux, plus l'atténuation de l'écho est importante**. Il existe différents types de finitions, comme les enduits talochés, stuqués ou éponnés.

Les enduits terre offrent également une très **grande variété de couleurs naturelles**. La teinte d'une terre varie d'un territoire à l'autre. La palette est vaste et riche.

Il est possible d'associer des pigments naturels pour obtenir une teinte spécifique.



ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

Les enduits terre, comme ceux à la chaux, répondent parfaitement aux normes actuelles d'étanchéité à l'air lorsqu'ils sont posés, conformément aux Règles Professionnelles de la construction paille.

Pour cela les enduits doivent être associés à des compléments comme des rubans adhésifs tramés pour être correctement liaisonnés aux autres matériaux (bois, paille) et ne présenter aucune fissure.

Il est possible d'atteindre les exigences de la construction passive grâce aux enduits en terre crue et aux enduits à la chaux.



LA PAILLE ET LA SÉCURITÉ INCENDIE

♦ LA RÉACTION AU FEU D'UN MATÉRIAU

Les essais au feu permettent d'évaluer de façon conventionnelle la contribution des matériaux au démarrage d'un incendie.

Cette évaluation consiste à déterminer la tendance d'un matériau ou d'un produit :

- à s'enflammer ;
- à brûler avec plus ou moins de vigueur ;
- à dégager plus ou moins d'énergie et de fumées ;
- à dégager des gouttes enflammées ;
- à propager la flamme à sa surface.

CLASSE	COMBUSTION ÉNERGÉTIQUE À LA PROPAGATION D'UN INCENDIE	CLASSIFICATION COMPLÉMENTAIRE	
		Production de fumée	Chute de gouttes et débris enflammés
A1	Incombustible		
A2	Pratiquement incombustible	S1 Faible production de fumée	sl0 Pas de gouttelettes/particules enflammées
B	Résistant à une attaque prolongée des flammes et d'un objet isolé ardent tout en limitant la propagation de la flamme	S2 Production moyenne de fumée	sl1 Gouttelettes/particules enflammées persistant moins de 10s
C	Résiste à une attaque brève des flammes et d'un objet isolé ardent tout en limitant la propagation des flammes	S3 Production importante de fumée	sl2 Gouttelettes/particules enflammées persistant plus de 10s
D	Résiste à une attaque brève de petites flammes tout en limitant la propagation des flammes et d'un objet isolé ardent	S4 Production importante de fumée	sl2 Gouttelettes/particules enflammées persistant plus de 10s
E	Résiste à une attaque brève de petites flammes en limitant la propagation de la flamme	Pas testé	Sans indication ou sl2
F	Aucune performance déterminée		



Classement de réaction au feu d'un mur en bottes de paille enduit chaux ou terre crue
Classement de résistance au feu : REI 120 / RE 120

♦ LA RÉSISTANCE AU FEU D'UN ÉLÉMENT DE CONSTRUCTION

La résistance au feu est la capacité d'un élément de construction à jouer le rôle qui lui est dévolu, en situation d'incendie pendant un temps donné. L'ancien système de classification français Stable au feu (SF), Pare flammes (PF) et Coupe-Feu (CF) a été remplacé par les critères européens de classification R (Résistance mécanique), E (Étanchéité aux gaz chauds et aux flammes), I (Isolation thermique) et W (Limitation du rayonnement thermique).

Pour un élément de construction, le terme «résistance au feu» inclut un ou plusieurs des trois critères suivants :

- La résistance mécanique ou stabilité (R)
- L'étanchéité aux flammes et gaz chauds (E)
- L'isolation thermique (I).

Le classement en résistance au feu s'exprime en «degré» (ou en «classe») en fonction du temps pendant lequel l'élément satisfait aux différents critères de classement : R30, E30, I30, EI120, REI60 (le nombre représente la durée de la résistance au feu en minutes).

Les durées de résistance au feu à satisfaire sont prescrites dans les documents réglementaires en fonction du type de bâtiment considéré.

Les durées de résistance au feu conventionnelles sont déterminées en référence à l'incendie conventionnel défini par les normes NF ISO 834-1 ou NF EN 1363-1.

♦ CE QUE DISENT LES RÈGLES PROFESSIONNELLES

Domaine d'emploi :

- Bâtiments d'habitation : maisons individuelles et logements collectifs
- 1ère famille : maisons individuelles isolées ou jumelées R+1 au plus maisons individuelles groupées en bande à simple RDC.
- 2ème famille : maisons individuelles isolées, jumelées, en bande de plus que R+1 logements collectifs R+3 au plus > 8 m exclu.
- 3èmeTroisième famille : plancher bas du dernier niveau à moins de 28 m exclu.
- 4ème famille : plancher bas du dernier niveau à moins de 50 m exclu.

- Etablissements relevant du Code du travail (ERT) : bâtiments tertiaires, industriels, agricoles

- Etablissements recevant du public (ERP)

- Utilisation de parements extérieurs enduits sur support en bottes de paille limitée à R+2.
- Locaux à faible ou moyenne hygrométrie ($W/n < 5 \text{ g/m}^3$) avec un classement concernant l'exposition à l'eau des parois de type EA (secs ou faiblement humides), EB (moyennement humides) et EB+ privatif (humides à usage privatif).

Source : Retrouvez toutes les ressources réglementaires et normatives sur le site du www.rfcp.fr

♦ LES POINTS DE VIGILANCE

- Rappel : la paille en vrac est inflammable !

Pendant la TRANSFORMATION & Le STOCKAGE des bottes de paille :

- Protéger la paille

Sur le CHANTIER :

- Avoir des moyens d'extinction (poteau incendie, extincteurs à eau) ;
- Avoir un tuyau d'arrosage prêt à l'emploi avec un débit d'eau suffisant ;

Les bottes de paille sont protégées par un matériau ou procédé garantissant une tenue au feu réglementaire conforme aux exigences relatives à la classe de service du bâtiment. Aucune fente ou trou traversant et béant n'est admis dans les parements de parois en bottes de paille.

La protection au feu est assurée indifféremment par un enduit ou un matériau/procédé en contact direct avec la paille (plaques, etc.). La protection au feu est maintenue en tout point de la surface du parement.

Un gobetis de protection au feu est appliqué sur la paille dans le cas où le matériau de parement et/ou de contreventement ménage un vide technique ou n'est pas en contact direct avec les bottes.

- Nettoyer rigoureusement le chantier ;
- Ne pas laisser de paille en vrac au sol ;
- Ne pas fumer à proximité de la paille ;
- Respecter des distances de sécurité entre la paille et les équipements de production de chaleur (poste à souder, meuleuse, tronçonneuse à métaux, etc) ;
- Sensibiliser les différents corps d'état à la sécurité incendie sur les chantiers paille.

Essai LEPIR 2 : évaluation du comportement au feu d'un élément de façade isolé en paille avec un enduit extérieur à la chaux
*Essai réalisé avec succès dans le cadre de la construction d'une école à Saint-Médard-en-Jalles



LES ÉCO-MATÉRIAUX EN ÎLE-DE-FRANCE

RENCONTRE POUR L'ESSOR DES FILIÈRES DES MATÉRIAUX BIOSOURCÉS

RETROUVEZ NOS PUBLICATIONS

www.arec-idf.fr

