



Prévenir les désordres,
améliorer la qualité
de la construction

PÔLE
PRÉVENTION
PRODUITS MIS
EN ŒUVRE



ISOLANTS BIOSOURCÉS : POINTS DE VIGILANCE



Cette étude a été réalisée
par Madame Véronique Galmiche.

Photo chanvre : © Quentin Pichon
Photo paille : © RFCP

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	5
I. LA PAILLE	8
II. LE CHANVRE	18
III. LA FIBRE DE BOIS	29
IV. LA OUATE DE CELLULOSE	38
V. RELEVÉ DES BONNES PRATIQUES	47
CONCLUSION	54
ANNEXES	56
ANNEXE 1 : Les sels de bore et les sels d'ammonium	57
ANNEXE 2 : Fonctionnement et domaine d'analyse de la C2P	58
ANNEXE 3 : Avis techniques	59
BIBLIOGRAPHIE	61

AVANT-PROPOS

Depuis quelques années, l'utilisation de matériaux biosourcés se développe dans la construction neuve et en réhabilitation et notamment les isolants.

La transition énergétique actuellement en route devrait favoriser ce déploiement dans les années à venir, cependant, un certain nombre d'obstacles au développement de la filière des produits biosourcés ont été identifiés, notamment la connaissance des Règles de l'art par l'ensemble des acteurs de la construction.

La sinistralité mise en regard des Règles de l'art devrait permettre de mieux appréhender ces matériaux et ainsi dégager des pistes d'action.

« Cette étude¹ a pour objectif de faire état des désordres et des points sensibles des techniques biosourcées qui font l'objet de Règles professionnelles ou d'Avis Techniques » dans le but de développer les bonnes pratiques.

L'étude s'appuie sur des entretiens menés auprès d'une quarantaine de professionnels, spécialistes des matériaux isolants abordés (architectes, bureaux d'études, entreprises, bureau de contrôle, artisans, fabricants, négociants, mycologue, biochimiste,...), les sinistres et désordres qui en ressortent sont issus d'expériences de chantiers et de réalisations.

La lecture d'ouvrages et d'articles de référence vient compléter le contenu. Il ne s'agit pas ici de réaliser une recherche scientifique qui s'appuierait sur des expériences de laboratoire, mais de faire un bilan de situation des matériaux isolants biosourcés du point de vue de la sinistralité et des difficultés rencontrées par les acteurs.

Cette étude vise à établir un état des lieux :

- des désordres et sinistres rencontrés suite à l'emploi d'isolants biosourcés
- des bonnes pratiques relevées à mettre en regard

1. Convention DHUP-AQC pour 2014 - Action 3 : Sinistralité des produits biosourcés - Avril 2014

INTRODUCTION

« En 2009, le marché français de l'isolation en construction s'élevait à environ 1,5 milliard d'euros. Les laines minérales pèsent pour 50 % de parts de marché, suivies par les mousses alvéolaires (polystyrène extrudé et expansé) pour environ 40 % de parts de marché. Dès lors, la place est restreinte pour les autres isolants (isolants biosourcés et isolants minces) qui se partagent les 10 % restants de parts de marché. Les isolants à base de fibres de bois représenteraient la moitié des 10 % restants, le reste serait réparti entre les autres matériaux biosourcés. [...] L'Ademe, par le biais de l'agence Alcimed, estime que le marché des laines isolantes végétales pourrait atteindre... 206 700 tonnes en 2030. Les laines végétales représenteraient alors... 13,16 % du marché global des laines isolantes en 2030.² »

« Les isolants biosourcés tirent leur épingle du jeu. L'étude montre que, dans un contexte pourtant complexe, les isolants biosourcés s'en tirent bien. Les ventes en superficie (m²) ont progressé de près de 6 % entre 2012 et 2014, et représenteraient sur l'ensemble des ventes (murs et toiture) plus de 8 % du marché.³ »

Bien que l'utilisation des matériaux biosourcés semble augmenter, leur part de marché reste encore faible au regard des produits conventionnels. Différents freins au développement de ces produits entrent en ligne de compte, l'un d'eux est la méconnaissance de leurs caractéristiques spécifiques et des désordres que leur emploi peut engendrer par cette méconnaissance.

L'étude plus précise des désordres et sinistres recensés montre que leurs origines ne résident pas tant dans les matériaux proprement dits mais, pour une part relèvent de défauts de conception et pour une majeure partie de défauts de prescription et de mise en œuvre. Tout matériau, quel qu'il soit, s'il est mal mis en œuvre peut être source de désordre voire de sinistre.

Le recensement des matériaux isolants biosourcés montre qu'ils sont relativement nombreux ; produits simples ou produits mixtes, certains restent confidentiels, limités à une région ou à un contexte, d'autres sont encadrés par des Avis Techniques et des Règles professionnelles.

Quelques matériaux d'isolation biosourcés

Produits
fibre de bois
liège expansé
laine de chanvre
chènevotte
laine de lin
ouate de cellulose
laine de coton
laine de textile recyclé
paille de céréales : blé, seigle, riz
paille de roseaux
paille de lavande
miscanthus
herbe
tige de tournesol
laine de coco
balles de grains vêtus (riz, épeautre,...)
laine de mouton
Produits mixtes
fibre de bois/laine de chanvre - fibre de bois/laine de verre
laine de chanvre/fibre de bois/laine de coton
laine de lin/laine de chanvre
ouate de cellulose/laine de chanvre
laine de coton/laine de chanvre
laine de mouton/laine de lin

Cette liste n'est pas exhaustive mais permet de voir la grande variété des produits susceptibles de répondre au besoin de l'isolation thermique biosourcée des constructions.

Certains matériaux restent très localisés, suivant les capacités agricoles des régions dans lesquelles on les rencontre et suivant les volontés politiques de développement ; d'autres matériaux, à l'instar de la paille de céréales se retrouvent sur l'ensemble du territoire français.

2. Connaissance de la filière des matériaux biosourcés pour la construction en Pays de Loire - DREAL Pays de Loire janvier 2013 - p. 32 - source ALCIMED.

3. Le marché de l'isolation thermique des murs & toitures - FORDAQ 08/04/15

Les matériaux de l'étude

« Les matériaux biosourcés sont, par définition, des matériaux issus de la biomasse d'origine végétale ou animale. Ils couvrent aujourd'hui une large gamme de produits et trouvent de multiples applications dans le domaine du bâtiment et de la construction, en tant qu'isolants (laines de fibres végétales ou animales, de textile recyclé, ouate de cellulose, chènevotte, anas, bottes de paille, etc.), mortiers et bétons (béton de chanvre, de bois, de lin, etc.), panneaux (particules ou fibres végétales, paille compressée, etc.), matériaux composites plastiques (matrices, renforts, charges) ou encore dans la chimie du bâtiment (colles, adjuvants, peintures, etc.).⁴ »

L'étude porte sur 4 familles de matériaux :

- la paille ;
- le chanvre ;
- la fibre de bois ;
- la ouate de cellulose ;

qui ont été retenues pour leur plus grande représentativité sur le marché des isolants biosourcés.

La paille est étudiée uniquement sous l'aspect isolant, les techniques de paille porteuse ne sont pas abordées dans ce document.

Le chanvre est décliné dans ses composantes fibres (vrac et panneaux) et chènevotte avec les applications enduits et bétons de chanvre, bien que la conductivité thermique des enduits et bétons de chanvre ($\lambda = 0,07$ à $0,18$ W/m.K) ne les situe pas dans la catégorie des isolants à proprement parler, la valeur maximale retenue étant $0,065$ W/m.K.

La fibre de bois est abordée sous deux aspects : le vrac et les panneaux.

La ouate de cellulose est examinée sous trois applications du produit en vrac : insufflation, soufflage et projection humide.

Les qualités intrinsèques des isolants biosourcés étudiés ne sont pas l'objet de la présente étude, cependant il s'avère qu'en règle générale ces produits apportent des performances particulières par leur capacité hygrosopique conjuguée à leur capacité et résistance thermique.

Une synthèse succincte des caractéristiques physiques indicatives est proposée pour chaque produit dérivé des matériaux étudiés.

Matériaux isolants biosourcés et santé

Les matériaux biosourcés, comme tous les matériaux de construction, peuvent être sources de pathologies liées à la santé humaine, tant pour les applicateurs avec la mise en contact au moment de la construction, que pour les utilisateurs par la qualité de l'air intérieur pendant la vie en œuvre du bâtiment.

Les matériaux de construction en général font, ou on fait, l'objet d'études spécifiques, notamment sur les fibres ou les moisissures. On peut retenir par exemple :

- « Les fibres autres que l'amiante », études en cours menées par le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer), aucune conclusion n'est publiée à l'heure actuelle.
- Le dossier INRS « Fibres autres que l'amiante »⁵.
- Le rapport scientifique québécois « Les risques à la santé associés à la présence de moisissures en milieu intérieur » - Direction des risques biologiques environnementaux et occupationnels et Laboratoire de santé publique du Québec - novembre 2002.
- Le rapport « Contaminations fongiques en milieux intérieurs. Diagnostic, effets sur la santé respiratoire, conduites à tenir » - Groupe de travail Moisissures dans l'habitat - septembre 2006.
- ou encore, l'étude « Associations between Fungal Species and Water-Damaged Building Materials » Andersen et Co - juin 2011.

Les sels de bore et les sels d'ammonium

« L'acide borique est une substance reprotoxique avérée, son incorporation dans les ouates de cellulose fait l'objet de restrictions prises dans le cadre du règlement REACH et son usage dans ces produits en tant que biocide est interdit. Toutefois, son usage en tant qu'ignifugeant reste autorisé.

Par ailleurs, l'État poursuit l'objectif depuis plusieurs années d'inciter les fabricants de ouate de cellulose à remplacer ces sels de bore par d'autres substances. La première tentative de substitution des sels de bore a été d'incorporer des sels d'ammonium en traitement ignifugeant. Malheureusement, des désordres sont survenus, se traduisant par de forts dégagements d'ammoniac dans plus d'une centaine d'habitations.

4. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Produits-de-construction-et.html> : Produits de construction et matériaux biosourcés - octobre 2010 (Mise à jour 30 septembre 2015) - BÂTIMENT ET VILLES DURABLES : Filière matériaux de construction "biosourcés"

5. <http://www.inrs.fr/risques/fibres-hors-amiante/ce-qu-il-faut-retenir.html>

Face à cette situation, les fabricants se sont mobilisés avec un fort soutien de l'État et ont démarré une action de R&D visant à proposer de nouvelles solutions de substitution. La CCFAT a alors décidé de prolonger la possibilité de délivrance d'Avis Technique à des ouates de cellulose à base de sels de bore jusqu'à juin 2017.

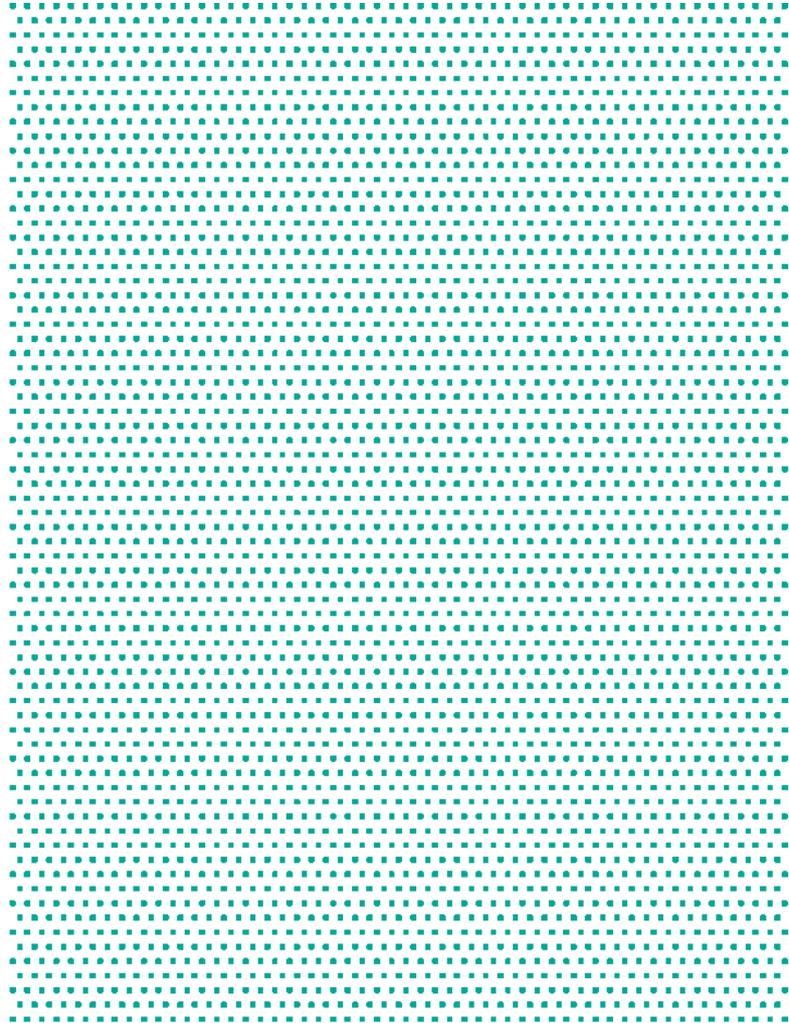
En parallèle, l'Anses a proposé dans son dossier une possibilité d'utilisation restreinte des sels d'ammonium (dégageant d'ammoniac inférieur à 3ppm) au niveau européen, en lieu et place de l'interdiction absolue aujourd'hui en vigueur en France. Le RAC et le SEAC ont émis un avis favorable. La commission doit valider cette proposition pour l'ajouter à terme dans l'annexe XVII de REACH.

Un état plus détaillé de la situation est présenté en annexe 1. »⁶

Nota

Les renseignements figurant dans le tableau des caractéristiques physiques proposé pour chacun des matériaux sont donnés à titre indicatif.

La collecte de ces renseignements s'est avérée difficile, en raison du manque de synthèse de ces caractéristiques tant dans les documents réglementaires que dans les documents techniques ou commerciaux mis à disposition par les fabricants ou les fournisseurs. Certaines informations différant d'une source à l'autre, c'est une moyenne qui a été retenue. Certaines informations n'ayant pas pu être trouvées, les lignes correspondant aux caractéristiques en question ne sont pas renseignées.



6. Service Réglementation technique des produits du bâtiment à la DGALN/DHUP/QC3

I. LA PAILLE



La paille est étudiée du seul point de vue de l'isolation en bottes, soit entre ossature bois, soit en remplissage de caissons. La paille porteuse et les panneaux de paille compressée ne seront pas abordés dans cette étude.

Environ 5 000 tonnes de paille sont utilisées actuellement par an dans la construction pour 45 millions de tonnes de production annuelle globale de paille de blé et 3 millions de tonnes mobilisables pour le bâtiment⁷.

Le RFCP (Réseau Français de la Construction Paille) recense aujourd'hui près de 3 500 bâtiments isolés en paille. Les maisons individuelles représentent une bonne part de ces constructions mais, les immeubles de logements, les équipements publics ou les immeubles de bureaux sont de plus en plus nombreux à être isolés en paille.

7. Étude sur le secteur et les filières de production des matériaux et produits biosourcés utilisés dans la construction - Nomadéis - 2012

I.1 Matériau, produits et caractéristiques physiques

Quelle paille est utilisée ?

C'est la paille de blé qui est essentiellement mise en œuvre. Les pailles de riz, de seigle et autres céréales relèvent d'une utilisation anecdotique au regard de l'ensemble des isolants mis en œuvre. Les pailles de lavande peuvent également être utilisées, mais uniquement dans le secteur géographique de culture de cette plante.

Les Règles professionnelles concernent uniquement à la paille de blé.

Les produits issus du matériau

De la paille est issue deux produits : la botte de paille et le panneau de paille compressée.

Le panneau de paille compressée est préconisé en cloison sèche et en doublage isolant de murs existants.

Il ne fait pas l'objet de l'étude.

Les bottes de paille

En règle générale, les bottes sont directement issues du champ.

Au moment de la récolte, suivant le type de botteleuse dont dispose le paysan, les bottes seront utilisables en l'état ou « rebottelées » auprès d'une entreprise spécialisée. Les bottes mises en œuvre pour la construction en paille sont calibrées suivant les dimensions : 0,45 m (hauteur) × 0,35 m (largeur) × 0,80 à 1,10 m (longueur).

Au moment de la mise en œuvre, les fibres sont le plus souvent orientées perpendiculairement au flux de chaleur (pose sur chant ou verticalement).

Les techniques : bottes nues ou caissons préfabriqués

Les bottes de paille sont utilisées en remplissage de caissons préfabriqués en atelier. Les caissons sont composés de panneaux (OSB, particules, contreplaqués,...) assemblés en coffre contenant les bottes de paille. Les caissons, spécifiques à chaque atelier et/ou chantier, sont mis en œuvre fermés ou ayant reçu une première couche d'enduit.

Seule la technique des caissons est utilisée pour la construction des équipements publics ou des bâtiments de logements ; la mise en œuvre de la paille en bottes nues destinée à recevoir un enduit est essentiellement réservée à la construction de maisons individuelles, souvent en autoconstruction.

Par exemple, il existe des blocs de paille spécialement rebottelés pour remplir une ossature bois ; un avis technique porte sur l'ensemble du produit ossature/remplissage.

Les outils

Différents outils de découpe peuvent être utilisés notamment pour recouper les bottes à la bonne dimension : scie crocodile, tronçonneuse, disquieuse.

Dans une construction mettant en œuvre des bottes de paille nue, une débroussailleuse ou un taille-haie peuvent être employés pour parer les parois avant l'application des enduits.

Ces outils sont générateurs d'étincelles et de chaleur, leur utilisation ne peut se faire que dans certaines conditions afin d'éviter tout sinistre ; notamment le nettoyage régulier de la paille en vrac doit être réalisé.

Caractéristiques physiques indicatives

- **Densité** : $\rho = 80$ à 150 kg/m^3
- **Capacité thermique massique** : $C_p = 1\,550 \text{ J/(kg.K)}$
- **Résistance thermique** : $R = 7,1 \text{ m}^2.\text{K/W}$ pour 37 cm d'épaisseur
- **Conductivité thermique** : $\lambda = 0,052$ à $0,080 \text{ W/m.K}$ selon le sens de la fibre (EN 12667)
- **Perméabilité à la vapeur d'eau** : $\mu = 1,04$ (DIN 4108-3) (sd 0,30 à 0,50)
- **Hygroscopicité** : forte (absorption jusqu'à 25 % de sa masse sur de courtes durées)
- **Réaction au feu** : paille et enduit B-s1, d0 - produit seul E
- **Affaiblissement acoustique** : $R_w = 48$ à 57 dB
- **Énergie grise** : 35 kWh/m^3 - puits de carbone, matériau local, non toxique.

I.2 État des Règles de l'art

Règles professionnelles publiées en 2012 révisées en 2014

Après les généralités concernant ce matériau de construction qui constitue le chapitre 1, les Règles professionnelles abordent dans le chapitre 2 les propriétés du matériau botte de paille. Le chapitre 3 est consacré aux techniques constructives. Les ouvrages connexes et les revêtements sont traités respectivement dans les chapitres 4 et 5. La 2^e partie est constituée de 6 annexes : 1- Cahier des charges pour l'utilisation de bottes de paille dans la construction. 2- Procédure de contrôle de la qualité de mise en œuvre de la paille. 3- Procédure de validation de la maîtrise des tensions au séchage d'enduits à base d'argile.

4- Procédure de validation de tenue au cisaillement d'enduits. 5- Coefficient à la diffusion de vapeur d'eau.

6- Calcul du Sd d'un parement. 7- Résultats et procès-verbaux d'essais.

La construction en paille, selon les Règles professionnelles acceptées par la C2P⁸, est considérée comme une technique courante par les assureurs.

Avis technique

Un Avis Technique concerne un procédé ossature/remplissage⁹.

Divers

Une FDES (Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire) : déclaration collective - septembre 2013 :

« [...] tous les producteurs de bottes de paille de petites dimensions ($37 \times 47 \times 100 \text{ cm}$) destinées à la construction en conformité avec les Règles professionnelles de la construction en paille CP 2012. »

I.3 Les acteurs

Les organisations professionnelles

- Réseau Français de la Construction Paille : RFCP regroupe artisans, architectes, maîtres d'ouvrage, auto-constructeurs, formateurs, associations.
- CNCP : Centre National de la Construction en Paille - Émile Feuillet : promouvoir, valoriser et expérimenter la construction paille.
- Une vingtaine d'associations adhérentes au RFCP
- Karibati travaille avec les acteurs des différentes filières de matériaux biosourcés.

La maîtrise d'œuvre et les entreprises

Parmi les adhérents au Réseau Français de la Construction Paille, on dénombre des architectes, des bureaux d'études, des entreprises.

Certains de ces adhérents ont suivi la formation Propaille proposée par le RFCP, mais tous les acteurs ayant suivi la formation Propaille ne sont pas systématiquement adhérents à l'association, ce qui ne permet pas pour l'instant de dénombrer les professionnels réellement formés.

Les formations

La formation Propaille, fait partie intégrante des Règles professionnelles, tout acteur doit être formé à ces pratiques s'il veut construire des bâtiments isolés en paille conformément aux Règles professionnelles.

Cette formation d'une durée de 35 heures dispensée en 5 jours aborde tous les chapitres des Règles professionnelles et des ateliers de mise en pratique sur maquette grandeur nature se répartissent tout au long du stage. Une partie du programme est réservée à l'analyse et au traitement des désordres.

8. Cf. tableau "Fonctionnement et impact de la C2P" en annexe 2

9. Liste des Avis Techniques en annexe 3

Le RFCP propose également une Formation de formateurs qui interviendront auprès des professionnels dans le cadre de la formation Propaille décrite ci-dessus.

Les adhérents au RFCP comptent également des organismes de formation habilités à diffuser les formations Propaille et des associations qui peuvent organiser des actions de formation Propaille.

I.4 Corrélation : désordres/non respect des Règles de l'art

Il ressort des entretiens avec différents acteurs de la construction en paille (architectes, bureaux d'études, bureau de contrôle, artisan, représentant du RFCP) que les sinistres et désordres recensés apparaissent pour la plupart pendant la période de chantier et que la majeure partie d'entre eux résulte de dégâts des eaux.

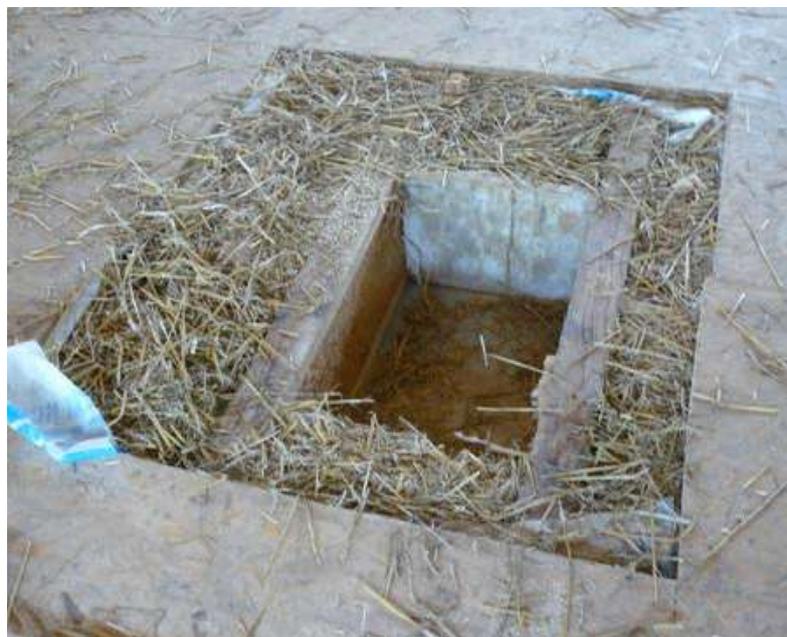
Quelques rares sinistres liés à l'incendie ont également été recensés pendant la période de chantier.

Les désordres et sinistres relevés après la réception et pendant la vie de l'ouvrage sont pour l'essentiel dus à des dégâts des eaux, ceux-ci étant parfois la conséquence d'erreurs de conception mais, s'ils sont principalement dus à des défaillances d'attention ou de vigilance pendant la période de mise en œuvre, ils peuvent aussi être le résultat de défaillances externes comme une fuite d'eau en toiture, une inondation intérieure provoquée par la rupture d'une canalisation,...

La paille étant un matériau putrescible, l'attaque des moisissures peut être très rapide. Les symptômes apparaissant immédiatement, les désordres et sinistres liés à des défauts de conception et/ou de mise en œuvre sont la plupart du temps détectés avant la fin du chantier ce qui permet de les corriger facilement. Le remplacement de la paille atteinte peut ainsi être réalisé, soit par de nouvelles bottes de paille saine, quelle que soit la technique (bottes nues ou bottes en caisson), soit par un autre matériau (ouate de cellulose ou fibre de bois) dans le cas de caissons.



1. Remontées capillaires (non-respect des Règles professionnelles)



2. Traces d'humidité sur la paroi et dans le fond du caisson

Tableau synthétique des entretiens

- La première colonne du tableau ci-dessous recense les désordres recueillis lors des entretiens menés auprès des professionnels spécialistes des différents isolants (architectes, bureaux d'études, bureaux de contrôle, entreprises, fabricants, formateurs, négociants, assureurs,...).
- La colonne « Origine des désordres » définit à quelle période de l'opération ces désordres sont rattachés (conception, fabrication, chantier, vie en œuvre,...), même s'ils apparaissent à une période ultérieure à l'origine - Exemple : un défaut de conception peut faire ressortir un désordre pendant la période de chantier.

- La colonne « Préconisations » propose les bonnes pratiques à adopter en regard des désordres rencontrés.
- La dernière colonne fait référence aux règles de l'art qui traitent du point particulier relevé (ATec : avis technique - RP : Règles professionnelles - CPT cahier des prescriptions techniques).

Présence de rongeurs : la densité des bottes de paille mises en œuvre, ainsi que les finitions, enduits ou parements intérieurs, rendent difficile l'accès aux rongeurs. La présence de rongeurs peut être avérée sur des chantiers sur lesquels la paille ne serait pas nettoyée régulièrement et où le site de stockage serait exposé à leur pullulation.

DÉSORDRES CONSTATÉS	ORIGINE DESORDRES	PRÉCONISATIONS	TEXTES
Matériaux humides, mouillés voire dégradés avant mise en œuvre, suite à transport et/ou stockage non protégés	chantier	Transporter et stocker à l'abri des intempéries. Contrôler le taux d'humidité de la paille. Ne pas mettre en œuvre d'isolant mouillé ou humide	ATec RP
Dégâts des eaux, avant et pendant le chantier jusqu'à la finition extérieure Exemple : pénétration d'eau au droit des appuis de fenêtres non posés	conception, chantier	Les conditions météorologiques doivent être favorables pendant toute la durée du chantier, notamment en cas d'utilisation de bottes nues. Prévoir la protection des ouvrages pendant le chantier jusqu'à la finition extérieure (mise en place de protections type chapiteau, solution coûteuse, mais les reprises le sont également - mise en œuvre du pare-pluie)	ATec RP
Confinement de la vapeur d'eau dans les caissons préfabriqués et en paroi de bottes nues.	conception, chantier	Utiliser des matériaux et produits adéquats pour le bon transfert de vapeur d'eau : films d'étanchéité à l'air, panneaux pour la fabrication des caissons,...	ATec RP
Remontées capillaires <i>voir photo 1</i>	conception, chantier	Mise en place de coupures de capillarité adaptées et pérennes	ATec RP
Humidité en pied de murs	conception, chantier	Isoler les fondations pour éviter le développement de condensation au droit de la lisse basse qui reste froide	RP
Pénétration d'eau dans les caissons préfabriqués remplis de paille Plusieurs causes : - conception des caissons - exposition aux intempéries <i>voir photo 2</i>	fabrication, conception, chantier	Protection provisoire des réservations pour les sangles de levage des caissons Tester le taux d'humidité : en cas de dépassement des taux admis, procéder au remplacement de la paille, soit par le même matériau, soit par un autre matériau : ouate de cellulose, fibre de bois,...	ATec RP

DÉSORDRES CONSTATÉS	ORIGINE DÉSORDRES	PRÉCONISATIONS	TEXTES
Apparition de moisissures et pourriture sur la paille	programmation, chantier	Protéger les ouvrages en cours de chantier. La saison hivernale ralentit l'apparition des moisissures mais est propice aux intempéries, le printemps accélère le développement des moisissures sur et dans un support gorgé d'eau Être attentif à la saison de mise en œuvre	ATec RP
Déformation par cintrage des ossatures bois de structure suite à une trop forte pression des bottes de paille : inadéquation entre les dimensions des bottes et de l'ossature	consultation, chantier	Dimensions et densité des bottes de paille : travailler toujours avec le même fournisseur ou vérifier les dimensions des bottes avant leur mise en œuvre	ATec RP
Fissuration des enduits de finition extérieure au droit des ossatures bois de la structure, au droit des menuiseries et/ou aux raccords d'angles des ouvertures <i>voir photos 3 4 5</i>	conception, chantier	Utiliser des produits spécifiques : nappes grillagées, armatures de renfort, au droit des raccords entre matériaux bois et paille, voire sur toute la surface à enduire Dimensionner correctement les linteaux	RP
Fissures et crevasses disjointes.* Fissures horizontales sur toute la surface du mur dues à la structure mal dimensionnée ou mal contreventée.*	conception, chantier	Respecter les dosages de charges et de liant, ainsi que les épaisseurs préconisées* Respecter les règles de conception et de construction applicables à la structure du bâtiment*	RP
écollement du corps d'enduit dû à un enduit gelé ou « grillé » par la chaleur*	conception, chantier	Élaborer un planning permettant la mise en œuvre à une saison propice (hors canicule ou gel) Protéger les enduits du soleil ou du grand froid En cas de forte chaleur, humidifier les couches de finition*	RP
Fragilisation des enduits correctement réalisés sur des façades exposées <i>voir photo 6</i>	conception, chantier	Opter pour un bardage sur les façades exposées ou en zone climatique humide et froide. Être attentif à l'orientation, au microclimat local et aux conditions météorologiques locales lors de la mise en œuvre des enduits	RP
Humidité et développement de moisissures <i>voir photo 7</i>	chantier	Si nécessaire, suivant l'avancement du chantier, prévoir la ventilation des locaux, ou la mise en place de déshumidificateur. Les temps de séchage doivent correspondre au type d'enduit mis en œuvre : terre ou chanvre/chaux	RP

* Extrait des Règles professionnelles 2012 révisées - Tableau 5.2. Désordres potentiels affectant des enduits de toutes natures



3.4.5. Fissuration d'un enduit chaux sur une isolation en paille



6. Enduits exposés au nord présentant de l'humidité une bonne partie de l'année



7. Enduits terre sur isolant paille : conditions et temps de séchage inappropriés

I.5 La paille face au risque incendie

Les risques d'incendie en cas d'utilisation de bottes de paille nue sont plus importants au moment de la mise en œuvre que lors de la vie du bâtiment. La technique des bottes nues étant principalement utilisée par les professionnels pour des maisons individuelles ou de petits équipements et dans le cadre d'opérations en autoconstruction, il convient de bien préparer le site du chantier et de définir des zones de stockage et de travail suffisamment éloignées de la construction en cours.



8. Botte de paille éventrée suite à une mauvaise manipulation pouvant entraîner le risque incendie.

DÉSORDRES CONSTATÉS	ORIGINE DÉSORDRES	PRÉCONISATION	TEXTES
Risque d'incendie en phase chantier en cas d'utilisation de bottes nues <i>voir photo 8</i>	chantier	Éloigner le stockage et les zones de production d'étincelles. Nettoyage régulier du chantier, notamment la paille en vrac. Éloigner la zone de découpe des bottes (à la tronçonneuse ou à la disqueuse) des ouvrages déjà réalisés. Interdire de fumer sur le chantier.	ATec RP
Incendie en état d'occupation	<p>A occupation</p> <p>B conception, chantier</p> <p>C occupation</p>	<p>A La paille doit être protégée par un enduit (corps et finition) ou tout autre revêtement coupe-feu avant l'occupation des locaux</p> <p>B Respecter l'écart au feu des conduits de fumée et utiliser des matériaux incombustibles pour combler le vide de l'écart au feu</p> <p>C Ne pas utiliser de matériel ou d'outil producteur de flammes ou d'étincelles à proximité des parois isolées en paille et dont le revêtement n'existe pas à cet endroit (exemple : dégel d'une canalisation avec un chalumeau - les canalisations doivent être isolées du gel)</p>	ATec RP

En phase d'occupation des locaux, les causes de sinistre incendie sont de plusieurs ordres :

- utilisation de matériels producteurs de flammes ou d'étincelles proche d'une paroi non terminée et donc non protégée par un parement ;
- défauts de conception ou de mise en œuvre :
 - non-respect de l'écart au feu des conduits de fumée ;
 - matériaux inflammables utilisés pour remplir le vide d'écart au feu ;
 - recoupement coupe-feu entre niveaux (pour des bâtiments à plusieurs étages) ;
 - coupe-feu au droit des habillages des ouvertures...

La masse combustible importante que représente l'isolation en paille d'un bâtiment peut être un facteur en cas d'incendie. Cependant, le taux de compression du matériau rend la paille difficilement inflammable, l'air ne circulant pas dans les bottes mises en place, celles-ci étant de surcroît protégées par des enduits ou des panneaux de finition. En revanche, la paille en vrac peut être un vecteur de propagation de feu, il est donc indispensable de veiller au nettoyage régulier du chantier, à la situation du stockage par rapport à la zone de découpe, à l'utilisation d'outils producteurs d'étincelles, à l'interdiction de fumer,...

En cas d'incendie, si l'isolant devait brûler, le délai de combustion du matériau paille compressée dépasse les temps de stabilité au feu requis pour l'évacuation des locaux.

Avis technique

La question de la sécurité incendie est évoquée à plusieurs reprises dans les Avis Techniques des produits soumis :

- Sécurité incendie - Dispositions générales ;
- Prévention des risques lors de la mise en œuvre. Le chantier devra être mené pour se prémunir des risques incendie en respectant l'interdiction de fumer et les préventions pour flamme nue et étincelles ;
- Conditions de mise en œuvre : Canalisations électriques. Il faut s'assurer que les canalisations électriques posées dans les vides de construction sont placées sous conduit non propagateur de la flamme (P) ;
- Feu. Comme pour tous les matériaux isolants à base de fibres végétales ou animales, les guides de l'isolation par l'intérieur du point de vue des risques en cas d'incendie s'appliquent au titre des matériaux isolants organiques ;

- Protection de l'ouvrage vis-à-vis du feu. L'isolant et la structure sont protégés par un écran côté intérieur et côté extérieur. Le dimensionnement est fait pour atteindre la durée de stabilité au feu exigé par la réglementation selon le cas d'emploi ;

- Résultats expérimentaux : Rapport de classement de réaction au feu.

Les quelques exemples rencontrés ci-dessus montrent que ces consignes ne sont pas toujours respectées et que les défauts de mise en œuvre sont essentiellement à l'origine des incendies :

- conduit de fumée non isolé ou isolé avec un matériau combustible ;
- dégel d'une canalisation avec un chalumeau ;
- occupation d'une habitation sans enduits et parements intérieurs.

Essai LEPIR II - Juillet 2009

Rapport d'essai CSTB n°26021044 concernant le comportement au feu d'un élément de façade.

Cet essai a été réalisé en vue de la mise en œuvre d'un isolant en paille dans une ossature bois. La validité de l'essai concerne uniquement les façades conçues suivant le modèle décrit. L'essai de recherche porte principalement sur l'évaluation de l'indice « C + D » (somme des distances horizontale et verticale entre deux niveaux)

Constat après essai :

- Compte tenu que la masse combustible mobilisable est supérieure à 80 MJ/m², la valeur minimale du C doit être limitée à 1 300 mm pour satisfaire à l'article CO21. L'indice C + D mesuré après essai présente une valeur de 1 330 + 540 = 1 870 millimètres.
- Les tôles acier de recoupement de vide d'air sont festonnées mais toujours en place.
- Destruction du bardage, du parement des allèges et du trumeau central : la paille présente une face extérieure visible et carbonisée. Après dépose des parties noircies et/ou carbonisées il reste une épaisseur de paille saine d'environ 28 centimètres.

Suite à l'extinction du foyer, il s'avère qu'une reprise de feu couvant dans les bottes de paille a engendré la poursuite de la carbonisation. Il est donc indispensable en situation d'incendie, de veiller à la parfaite extinction du feu.

La façade de l'établissement recevant du public, objet de cette étude, est conforme aux exigences de la résistance au feu.

D'autres essais :

D'autres essais ont également été réalisés, notamment pour le chantier expérimental de Montholier (Jura). Un élément de toiture en caisson bois rempli de paille, ainsi qu'un élément de mur à ossature bois remplissage paille et enduit ont subi un test au feu. Les résultats sont similaires à l'essai décrit ci-dessus :

- élément de toiture : le panneau du caisson est resté stable, aucune combustion n'a débuté dans la paille (essai de feu 20 minutes) ;
- élément de mur : l'enduit s'est effondré après 45 minutes, l'ossature bois n'a pas été attaquée, très lente combustion à l'intérieur du mur (essai de 1 h 25 d'un feu d'heptane)¹⁰.

Par ailleurs, la construction en isolation paille se développe depuis plusieurs années dans de nombreux pays, des essais au feu y sont réalisés en conséquence.

Immeubles de logements - Établissements recevant du public

Les feux touchant des bâtiments isolés en paille sont considérés comme des feux de combustion et non comme des feux de flammes.

Pour certaines opérations (logement, écoles,...) des dispositions spécifiques sont prises par les équipes de maîtrise d'œuvre en accord avec la maîtrise d'ouvrage, les services de sécurité incendie et les bureaux de contrôle. Quelques exemples relevés lors d'entretiens avec des professionnels :

- les degrés coupe-feu requis sont obtenus par la structure (le remplissage paille étant considéré comme vêtue) ;
- l'accès facilité à toutes les façades doit permettre d'arriver rapidement aux caissons, donc à l'isolant, les parements étant facilement cassables ;
- recoupement des vides d'air de bardage à chaque niveau ;
- encadrement des baies en tôle d'acier de forte épaisseur formant coupure d'air...

I.6 Les autoconstructeurs

La construction en paille s'est d'abord développée par l'action des autoconstructeurs, mais peu à peu les professionnels, architectes, artisans, bureaux d'études ont pris une place prépondérante, même si les autoconstructeurs sont encore très présents.

Les chantiers d'autoconstruction sont souvent organisés sous forme de chantiers participatifs permettant de partager les expériences et d'apprendre « sur le tas ». Les autoconstructeurs ont joué un rôle important dans l'élaboration des premiers retours d'expérience concernant les techniques de mise en œuvre.

I.7 Conclusion sur le matériau paille

Le produit paille en lui-même, comme nombre de matériaux biosourcés, n'est pas source de sinistralité, seuls les défauts de conception et de mise en œuvre, comme pour tout produit conventionnel, sont susceptibles de créer des désordres et des sinistres.

Ce matériau étant hygroscopique et putrescible, il est plus sensible aux moisissures que d'autres isolants conventionnels, cependant, le développement de celles-ci n'est pas réservé à la paille et aux produits biosourcés.

Le respect des Règles professionnelles et l'attention due sur le chantier permettent de réaliser des constructions exemptes de désordres et peu sujettes aux développements de sinistres.

En règle générale les différents professionnels de la construction en paille sont mieux formés et plus exigeants que les acteurs de la construction conventionnelle.

L'apparition de désordres ou de sinistres pouvant être source de contre-exemples, les acteurs de la filière prennent en charge les réparations dues aux désordres qui surviennent, notamment pendant la durée du chantier afin d'éviter tout sinistre ultérieur.

La préoccupation qui ressort d'un certain nombre d'entretiens vient de la possible démultiplication des chantiers de construction en paille, avec une dilution des compétences et de l'attention portée à la bonne réalisation des travaux suivant les Règles professionnelles.

Plus il y aura de maîtres d'œuvre et d'entreprises susceptibles de s'emparer de cette technique de construction, plus les risques de sinistres seront démultipliés. Une des solutions est l'obligation de formation des architectes, des bureaux d'études et des entreprises qui est inscrite dans les Règles professionnelles.

II. LE CHANVRE



L'étude du chanvre porte sur 3 utilisations :

- isolant de fibres en panneaux ou rouleaux ;
- béton de remplissage chènevotte/liant ;
- enduit intérieur et extérieur chènevotte/liant.

D'autres utilisations comme la chènevotte ou les fibres en vrac ne seront pas étudiées ici. Les produits préfabriqués tels que les parpaings et les panneaux de mur font l'objet d'un paragraphe spécifique en fin de chapitre.

Le chanvre est cultivé en France sur une surface de 8 000 à 10 000 hectares, principalement dans la Sarthe et dans l'Aube, pour une production d'environ 50 000 tonnes par an¹¹.

Bien que les enduits et bétons de chanvre ne répondent pas à la spécificité "produits isolants", leur lambda ($\lambda = 0,07$ à $0,18$ W/m.K) étant supérieur à la valeur maximale retenue ($\lambda = 0,065$ W/mK.), ils sont étudiés ici en tant que matériaux biosourcés.

11. Étude sur le secteur et les filières de production des matériaux et produits biosourcés utilisés dans la construction - Nomadéis - 2012

II.1 Matériau, produits et caractéristiques physiques

Les produits issus du matériau

Du chanvre sont extraits plusieurs produits : la fibre, la chènevotte, le chènevis, la poussière.

Après le défibrage de la plante, les fibres longues sont valorisées en papeterie, plasturgie et matériaux composites. Environ 20 % des fibres longues sont valorisées dans le bâtiment (3 000 à 4 000 tonnes) avec l'ajout de liants : polyester, quelques fois de l'amidon de maïs, pour être transformées en « laine » d'isolation sous forme de panneaux, de rouleaux ou en vrac¹².

La chènevotte, issue du « bois » de la plante qui est concassé, se présente sous forme de granulats, elle est utilisée soit en vrac, soit mélangée à un liant, généralement à base de chaux. La chènevotte sert à confectionner des enduits et des bétons légers utilisés pour réaliser des formes horizontales, le remplissage de murs et des parpaings. Elle peut également être utilisée en vrac pour remplir des cavités ou des planchers (10 000 tonnes représentent environ 30 % de la production valorisée dans la construction¹³).

Le chanvre produit également le chènevis ou la graine servant entre autres à l'alimentation, à la cosmétique et qui n'est pas pris en considération ici.

La poussière résultant de la préparation du chanvre en ces divers produits est agglomérée pour fabriquer des granulés d'isolation pour chape par exemple, ce produit ne sera pas étudié.

Les techniques et les outils

Suivant le produit mis en œuvre, les outils seront adaptés pour répondre aux prescriptions des fabricants et aux règles de l'art.

Pour la laine de chanvre, les panneaux sont découpés avec une scie spécifique mise à disposition par les fabricants, les accessoires de fixation sont également adaptés à ce matériau.

Les enduits chanvre et chaux, dosés sur site suivant les indications des fabricants sont appliqués soit manuellement à la truelle, soit à la pompe suivant le contexte, l'épaisseur requise, l'aspect de finition souhaité.

Les applications peuvent se faire en intérieur ou en extérieur, sur tous types de supports (pierre, terre, béton cellulaire, terre cuite, béton, moellons,...)

Les bétons de chanvre préparés suivant les formulations des fabricants sont coulés ou projetés à la pompe entre des banches, enrobant l'ossature bois du bâtiment. Le dosage de mortier sera effectué suivant le type de paroi à réaliser : murs, doublages intérieurs, toitures ou chape.

12. Réhabilitation énergétique et matériaux biosourcés - état des lieux des connaissances, situation dans le Grand Est - Étude Arcanne pour le compte de EDS SA - novembre 2014

13. Étude sur le secteur et les filières de production des matériaux et produits biosourcés utilisés dans la construction - Nomadéis - 2012

Caractéristiques physiques indicatives des produits

CHÈNEVOTTE EN VRAC

Densité : $\rho = 90/100$ à $115/150$ kg/m³
 Capacité thermique massique : $C_p = 2\,000$ J/(kg.K)
 Résistance thermique : $R = 4,17$ m².K/W pour 20 cm
 Conductivité thermique : $\lambda = 0,048$ à $0,060$ W/m.K
 Perméabilité à la vapeur d'eau : $\mu = 1$ à 2
 Hygroscopicité : forte
 Réaction au feu : E (M4)
 Affaiblissement acoustique : $R_w = 59$ dB pour 30 cm
 Énergie grise : très faible 6 kWh/m² (pour 1 UF de 1 m² avec $R = 5$ m².K/W)

BÉTON DE CHANVRE

Densité : $\rho = 250/350$ à 450 kg/m³
 Capacité thermique massique : $C_p = 1\,700$ J/(kg.K)
 Résistance thermique : $R = 3,33$ m².K/W pour 20 cm
 Conductiv. therm. : $\lambda = 0,07$ à $0,18$ W/m.K (0,06 en toiture)
 Perméabilité vapeur d'eau : $\mu = 8$ (en toiture en 10 et 13)
 Hygroscopicité : forte
 Réaction au feu : A1 - A2
 Affaiblissement acoustique : $R_w = 59$ dB pour 30 cm
 Énergie grise : 60 à 90 kWh/m² (pour 1 UF de 1 m² $R = 5$ m².K/W)

LAINES

Densité : $\rho = 25$ à 60 kg/m³
 Capacité thermique massique : $C_p = 1\,500$ J/(kg.K)
 Résistance thermique : $R = 5$ m².K/W pour 20 cm
 Conductivité thermique : $\lambda = 0,039$ à $0,042$ W/m.K
 Perméabilité à la vapeur d'eau : $\mu = 1$ à 2
 Hygroscopicité : moyenne à forte
 Réaction au feu : E (M4)
 Affaiblissement acoustique : $R_w = 42$ à 56 dB
 Énergie grise : 30 à 48 kWh/m³

ENDUIT DE CHANVRE

Densité : $\rho = 700$ à 950 kg/m³
 Capacité thermique massique : $C_p = 1\,700$ J/(kg.K)
 Résistance thermique : $R = 0,29$ m².K/W pour 5 cm
 Conductivité thermique : $\lambda = 0,13$ à $0,19$ W/m.K
 Perméabilité à la vapeur d'eau : $\mu = 6$ à 12
 Hygroscopicité : forte
 Réaction au feu : A1 - A2
 Affaiblissement acoustique : -
 Énergie grise : -

II.2 État des Règles de l'art

Règles professionnelles publiées en 2012 (en cours de révision en 2016)

Le béton de chanvre bénéficie de Règles professionnelles publiées en 2007 dont la révision de 2012 a été acceptée par la C2P ; il est considéré comme une technique courante par les assureurs.

Les Règles professionnelles sont composées de cinq fascicules :

- Isolation de sol en béton de chanvre.
- Murs en béton de chanvre.
- Enduits en mortier de chanvre.
- Isolation de toiture en béton de chanvre.
- Carnet de détails.

Chacun de ces fascicules est introduit par un rappel des règles de mise en œuvre, avant de décliner les spécificités des différents types d'ouvrages traités : sol, mur, toiture,

enduit. Le carnet de détails propose une quarantaine de solutions techniques adaptées aux différents types d'ouvrages.

Il est prévu que ces Règles professionnelles soient prochainement revues et complétées.

Il n'existe pas actuellement de Règles professionnelles pour le chanvre en fibre (qu'il soit sous forme de vrac, panneau ou rouleau). L'ASIV (Association Syndicale des Industriels de l'Isolation Végétale) travaille sur la rédaction de Règles professionnelles d'isolation en fibres végétales.

Avis techniques et autres certificats

Quelques Avis Techniques ont été recensés, principalement pour les laines de chanvre en vrac, panneaux ou rouleaux et pour les panneaux mixtes chanvre/lin, chanvre/ouate,... La liste, non exhaustive, est dressée en annexe 2, Avis techniques.

Certificats ACERMI : un certain nombre de produits bénéficient d'un certificat ACERMI.

Divers

On recense plusieurs Cahiers de prescriptions techniques communes (CPT) pour les matériaux faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application :

- Cahier 3647 - novembre 2008 : Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique rapportée en planchers de greniers et combles perdus.
- Cahier 3683 - avril 2011 : Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique de combles par soufflage d'isolant en vrac.
- Cahier 3623 - novembre 2012 : Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique de murs par insufflation d'isolant en vrac.
- Cahier 3728 - décembre 2012 : Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique de murs à l'aide de produits manufacturés à base de fibres végétales ou animales.

FDES : quelques produits sont titulaires d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire.

II.3 Les acteurs

Les organisations professionnelles

- Interchanvre regroupe la FNCP (Fédération Nationale des Producteurs de Chanvre) et l'UTC (Union des Transformateurs du Chanvre) : promouvoir les intérêts et définir une stratégie commune.
- CenC - Construire en Chanvre compte plus d'une soixantaine d'adhérents, regroupe tous les niveaux d'acteurs de la filière pour la construction (agricole, industriel et bâtiment).
- Association des Chanvriers en Circuits Courts : regroupe des producteurs-transformateurs de chanvre commercialisant eux-mêmes le chanvre en circuits courts pour l'écoconstruction.
- Karibati travaille avec les acteurs des différentes filières de matériaux biosourcés.
- (CETIOM a un rôle d'échanges techniques et d'interface entre les experts de la filière chanvre, le monde de la recherche et les industries des matériaux.)

Associations régionales pour la construction en chanvre

- Collectif 3 CA - Construire en Chanvre en Champagne-Ardenne : développement d'une filière locale, propose un annuaire de professionnels (entreprises, architectes, négociants), accompagne des programmes de recherche et d'innovation,...
- Construire en Chanvre en Bretagne : création début 2015.
- Construire en Chanvre en Île-de-France : groupement d'agriculteurs.

D'autres associations régionales, Franche-Comté, Provence-Alpes-Côte d'Azur sont en préparation.

Les fabricants

À partir de la plante, la fabrication du chanvre passe par plusieurs étapes. On distingue différentes filières, des filières industrielles longues ou courtes qui produisent la fibre et la chènevotte.

D'une part, la fibre est façonnée en panneaux ou rouleaux de chanvre seul ou mélangé avec du lin ou de la ouate de cellulose. D'autre part, la chènevotte est vendue en vrac pour les bétons et les enduits ou en parpaings préfabriqués.

Les fabricants de liants pour les bétons et enduits sont également cités dans ce recensement.

Les entreprises

Les produits isolants en fibres de chanvre sont assimilés à des produits conventionnels et toute entreprise qui pose de l'isolation est susceptible d'en utiliser. Il n'y a pas de formation particulière ou de spécialité à acquérir.

Les entreprises qui mettent en œuvre du béton de chanvre et des enduits de chanvre sont amenées à pratiquer des techniques qui nécessitent une formation afin d'aborder les chantiers dans les meilleures conditions de réussite.

Certaines entreprises sont aguerries à ces techniques et construisent régulièrement en béton de chanvre.

Les formations

L'association Construire en Chanvre propose une formation restructurée depuis peu en 4 modules :

- module 1 : initiation - sous forme d'un ouvrage écrit ;
- module 2 : à destination des artisans en 4 jours - techniques de mise en œuvre du béton de chanvre (coulage, projection, banchage) ;

- module 3 : à destination de la maîtrise d'œuvre en 1 jour + document écrit - caractéristiques du produit et préconisations de mise en œuvre ;
- module 4 : synthèse des connaissances sous forme d'une base de données (tests, études, chantiers,...).

Un module supplémentaire à destination de la maîtrise d'ouvrage est à l'étude.

La formation des entreprises fait partie des obligations spécifiées dans les Règles professionnelles. L'association Construire en Chanvre recense une cinquantaine de formateurs agréés.

II.4 Corrélation : désordres/non-respect des Règles de l'art

Le matériau béton de chanvre, qui fait partie des filières de construction humide, semble d'un usage relativement délicat, des principes de conception et des conditions de mise en œuvre spécifiques doivent être parfaitement respectés pour éviter tout désordre ultérieur.

Les principes de conception sont énumérés dans les Règles professionnelles, cependant certains points délicats ne sont pas vraiment soulevés : notamment concernant les dallages sur terre-plein (cf. RP fascicule Isolation de sol pp. 6, 8 et carnet de détails pp. 10, 12, 16) qui peuvent, malgré toutes les précautions prises, poser de graves problèmes en cas de remontées intempestives d'eau ou tout simplement en cas d'inondation intérieure accidentelle due à la rupture d'une canalisation, d'un réservoir d'eau chaude ou simplement au débordement d'un appareil sanitaire. Si la forme en béton de chanvre est prise en sandwich entre deux ouvrages non perméables à la vapeur d'eau, par exemple une forme en béton et une chape avec carrelage, le séchage ne pourra pas se faire correctement et le désordre peut s'avérer important (dépose de la chape et du carrelage, suppression de la forme en béton de chanvre et réfection de l'isolation). Ceci vaut également pour les formes en béton de chanvre situées en plancher intermédiaire, si elles sont comprises entre deux ouvrages insuffisamment perméables à la vapeur d'eau qui empêchent le séchage.

Les conditions de mise en œuvre sont également objet de

toutes les attentions, notamment en ce qui concerne les conditions climatiques. Compte tenu du temps de séchage important des produits mis en œuvre, il convient de programmer le chantier à des périodes propices, de prévoir les délais de séchage appropriés à la saison d'une part et un système de ventilation adapté d'autre part.

Concernant la composition des bétons de chanvre préconisés par les Règles professionnelles, il semble que les taux de compression requis soient un peu élevés pour ce type d'ouvrage de remplissage, ce qui ne permet pas l'emploi de chaux aériennes, beaucoup moins « dures » que les chaux hydrauliques employées. Cependant, les chaux aériennes ou faiblement hydrauliques sont plutôt bien compatibles avec les granulats de chanvre.

Les couples granulés/liants ont été étudiés et validés par des essais en laboratoire.

Les produits issus des fibres : vrac, panneaux ou rouleaux sont assimilés à des matériaux industriels, calibrés, contrôlés et les causes de désordres sont semblables à celles de ce type de produits.

Les rongeurs ne manifestent aucune appétence pour la laine de chanvre et la chènevotte, ils pourront éventuellement se contenter d'y faire leur nid, comme dans la majorité des isolants fibreux ou synthétiques.

Ces matériaux isolants n'étant pas destinés à rester apparents, il convient d'être attentif au moment de la fermeture des complexes et de ne pas laisser de possibilité d'intrusion. Si l'isolant devait rester sans parement, la mise en place d'un film anti-poussière serait une solution à l'intrusion des rongeurs. Pour ce qui est des bétons, enduits et briques de chanvre, la présence conjointe de chanvre et de liants, ainsi que la densité des produits empêchent toute pénétration de rongeurs.

Tableau synthétique des entretiens

- La première colonne du tableau ci-dessous recense les désordres recueillis lors des entretiens menés auprès des professionnels spécialistes des différents matériaux (architectes, bureaux d'études, bureaux de contrôle, entreprises, artisans, fabricants, formateurs, négociants, assureurs,...).
- La colonne « Origine des désordres » définit à quelle période de l'opération ces désordres sont rattachés (conception, fabrication, chantier, vie en œuvre,...), même s'ils apparaissent à une période ultérieure à l'origine - Exemple : un défaut de conception peut faire ressortir un désordre pendant la période de chantier.
- La colonne « Préconisations » propose les bonnes pratiques à adopter en regard des désordres rencontrés.
- La dernière colonne fait référence aux règles de l'art qui traitent du point particulier relevé (ATec : avis technique - RP : Règles professionnelles - CPT cahier des prescriptions techniques).

DÉSORDRES CONSTATÉS	ORIGINE DESORDRES	PRÉCONISATION	TEXTES
---------------------	-------------------	---------------	--------

LAINES DE CHANVRE EN PANNEAU, ROULEAU OU VRAC

Matériaux humides, mouillés voire dégradés avant mise en œuvre suite à transport et/ou stockage non protégés	chantier	Transporter et stocker à l'abri des intempéries. Contrôler le taux d'humidité de l'isolant. Pas de mise en œuvre de matériau humide.	ATec
Apparition de moisissures dans les ouvrages et décollement des revêtements de finition <i>voir photos 9 10 11 12</i>	chantier	Utilisation de films d'étanchéité à l'air adaptés. Ne pas percer le film d'étanchéité à l'air.	
Ponts thermiques pour pose non jointive des panneaux d'isolant	chantier	Être consciencieux et attentif à la pose des panneaux. Mettre en œuvre des produits de densité adaptée à l'usage.	ATec CPT

BÉTONS DE CHANVRE - ENDUITS DE CHANVRE

Apparition de moisissures sur les ouvrages pendant le chantier et après réception	chantier, vie en œuvre	Respecter des temps de séchage et mettre en place une ventilation adaptée (aussi bien pendant le chantier que pendant la vie en œuvre). Nota : si les moisissures apparaissent en surface, il y a de fortes présomptions pour que le cœur du matériau puisse également être atteint, un contrôle doit s'imposer.	RP
Séchage à cœur des murs en béton de chanvre pas optimal	conception, chantier	Choix du liant : choisir des liants validés par des laboratoires agréés et préconisés par les fabricants Dosage de l'eau : les chaux aériennes nécessitent moins d'apport d'eau pour la fabrication du béton que les chaux hydrauliques. Suivre les conseils des fabricants de granulats et de liants. Choix de la saison de mise en œuvre : être attentif aux conditions climatiques.	RP
Pulvéulence du matériau à cœur de mur due à l'utilisation de chaux non formulées, mal adaptées au béton de chanvre	conception, chantier	Respecter les préconisations de dosage des fabricants de liants (eaux, granulats, liant), se référer au document « couple liant/granulat ». Moins fréquent depuis la formulation des chaux.	RP



9. 10. Développement de moisissures suite à mise en œuvre de matériaux inadaptés étanches à la vapeur d'eau : enduit extérieur et peinture intérieure



11. 12. Développement de moisissures et décollement du revêtement suite à mise en œuvre de matériaux inadaptés étanches à la vapeur d'eau, type peinture à base de liants synthétiques, sur un mur exposé

DÉSORDRES CONSTATÉS	ORIGINE DÉSORDRES	PRÉCONISATION	TEXTES
Vieillesse prématurée des ouvrages <i>voir photo 13</i>	conception, chantier, intervention ultérieure	Traitement attentif de tous les points singuliers : <ul style="list-style-type: none"> ■ pieds de murs : garde au sol de 20 cm, coupure de capillarité, bavette de protection en pied de mur, isolation des fondations,... ■ interfaces murs/ouvertures ■ débords de toiture en relation avec l'orientation des façades. Moins fréquent depuis la publication des RP.	RP
Pénétrations d'eau dans les parois <i>voir photo 14</i>	chantier, intervention ultérieure	Traitement des points singuliers : <ul style="list-style-type: none"> ■ mise en place des appuis de fenêtres et seuils de porte dès que possible pour éviter les arrivées d'eau de ruissellement ■ rebouchage correct des réservations (accrochage d'objets lourds types stores, volets, pergolas,...). 	RP
Pénétrations d'eau en couverture	chantier, intervention ultérieure	Les membranes d'étanchéité à l'eau ne doivent pas être percées. En cas de percement accidentel ou volontaire (passage de gaines, sorties en toitures,...) il est impératif de garantir l'étanchéité à l'eau avec les accessoires mis à disposition par les fabricants.	
Dégâts des eaux en dallage	chantier, intervention ultérieure	S'assurer qu'il ne peut pas y avoir de fuites : enrober suffisamment les canalisations pour éviter tout percement ultérieur.	RP
Arrachement des ouvrages	conception, chantier, intervention ultérieure	Ancrage des ouvrages rapportés dans les ossatures de murs (exemple : stores, volets, pergolas,...) grâce à des plans de récolement qui positionnent précisément les structures porteuses.	RP
Défaut d'enrobage des bois de structures <i>voir photo 15</i>	conception, chantier	Respecter les dimensions définies dans les Règles professionnelles. Moins fréquent depuis la publication des RP.	RP
Micro fissuration, voire fissuration des enduits de finition <i>voir photo 16</i>	conception, chantier	Emploi de chaux aérienne ou faiblement hydraulique, pour les enduits de finition. Vérification du taux d'humidité des bois de structure avant réalisation des enduits de finition, si le taux excède les préconisations du DTU, il faut attendre la baisse de l'humidité. Mise en œuvre d'un gobetis à fresco pour faciliter la mise en œuvre du corps d'enduit lorsque les ouvrages seront prêts. Respecter les temps de séchage, surtout après un hiver pluvieux.	
Noircissement des bois restant apparents suite au remplissage des coffrages <i>voir photo 17</i>	conception, chantier	Prévoir la protection des bois qui restent apparents après la mise en œuvre par un film plastique ou tout autre moyen	



13. Moisissures sur enduit chanvre/chaux suite à infiltration pluie dans mur existant



14. Fissuration au droit d'un poteau de structure suite à un défaut d'enrobage



15. Micro fissuration des enduits



16. Pied de mur non conforme aux RP



17. Noircissement d'une poutre apparente suite au contact avec la chaux.

II.5 Le chanvre face au risque incendie

Aucun cas de sinistre incendie n'a été évoqué lors des entretiens avec les professionnels.

Les bétons et enduits chanvre ont un bon degré de Réaction au feu (A1 incombustible et A2), notamment en raison de la présence de la chaux.

Les produits issus des fibres (panneaux, rouleaux) ne sont pas destinés à rester apparents (voir Avis Techniques) et comme pour les produits en vrac, les dispositions générales s'appliquent :

- s'assurer auprès du maître d'ouvrage de la conformité des installations électriques avant la pose de l'isolant ;
- respecter les prescriptions prévues au dossier technique et dans le CPT 3693¹⁴ sur :
 - la protection des spots encastrés dans le plafond ;
 - la distance minimale vis-à-vis des conduits de fumée.

II.6 Les produits préfabriqués

Quelques fabricants et entreprises proposent des éléments préfabriqués en béton de chanvre : blocs ou panneaux. Ces éléments préfabriqués et séchés en usine permettent de construire ou rénover en filière sèche ; l'assemblage des blocs de béton de chanvre s'effectue avec un mortier-colle spécial fourni par le fabricant, l'assemblage des panneaux est réalisé par clavetage. Ainsi, les contraintes liées à la filière humide du béton de chanvre projeté ou coffré sont évacuées et les sources de désordre réduites.

14. Procédés d'isolation par soufflage d'isolant en vrac - Cahiers de prescriptions techniques n° 3693 avril 2011 - CSTB

II.7 Conclusion sur le matériau chanvre

Laine de chanvre

La laine de chanvre est un produit calibré, utilisé principalement en panneaux ou en rouleaux, plus rarement en vrac ; les désordres rencontrés s'apparentent à ceux relevés pour les autres isolants fibreux biosourcés ou non.

Des Avis Techniques, cahiers de prescriptions techniques et autres documents de référence permettent d'aborder la prescription et la mise en œuvre de ces produits « standardisés » avec toutes les préconisations techniques nécessaires à une bonne réalisation des ouvrages.

Certains fabricants proposent des formations aux applicateurs. Ces formations permettent aux participants de mettre en pratique les acquis théoriques sur des plateformes dédiées (type Praxibat) ; la mise en œuvre des produits sous forme de maquettes grandeur nature favorise l'acquisition des gestes et des bonnes pratiques.

La démultiplication de ces formations permettrait que toutes les entreprises et artisans qui posent ces produits, soit en vrac, soit en panneaux ou rouleaux en ITE ou ITI, soient parfaitement informés des causes de désordres, voire de sinistres possibles et soient sensibilisés à la bonne exécution des ouvrages, dans le respect des préconisations fabricants et des prescriptions des Avis Techniques.

Béton de chanvre

Le béton de chanvre, pouvant être mis en œuvre en mur, en toiture et également en sol (avec les précautions que l'on a vues précédemment), permet ainsi une bonne homogénéité de l'enveloppe, malgré une performance d'isolation moindre que certains autres matériaux biosourcés. Les bétons de chanvre sont intéressants du point de vue de la régulation hygrothermique ainsi que du point de vue de la Réaction au feu. Cependant, si les règles de l'art (Règles professionnelles) ne sont pas correctement appliquées et respectées cette qualité d'hygroscopicité peut réveiller l'aspect putrescible de la chènevotte et être source de désordres, voire de sinistres.

L'utilisation des bétons de chanvre en filière humide nécessite une conception attentive et une organisation spécifique du chantier :

- protection des ouvrages connexes, notamment de l'ossature bois de la structure au moment du coulage du béton de chanvre ;
- adapter les matériaux de finitions intérieures et extérieures au support béton de chanvre (matériaux ouverts à la diffusion de vapeur d'eau, bardage pour les façades exposées, etc.) ;
- choix de la période de mise en œuvre tenant compte du séchage du béton de chanvre ;
- élaboration d'un planning prenant en compte les temps de séchage ;
- prévoir la ventilation des locaux ;
- en cas d'impossibilité de ventiler correctement les locaux, prévoir des déshumidificateurs d'air.

Il s'avère que la formation des acteurs est incontournable si l'on veut tendre à éviter tout sinistre aussi bien pendant le chantier que lors de la vie de la construction.

Le développement d'une telle filière humide qui nécessite une attention et des compétences particulières doit se faire de façon raisonnée et les organisations professionnelles doivent veiller à ce que tous les nouveaux acteurs, aussi bien les concepteurs que les entreprises soient parfaitement formés à ces techniques.

L'utilisation d'éléments préfabriqués (blocs ou panneaux) en béton de chanvre semble une option intéressante qui pourrait pallier certaines difficultés de mise en œuvre et limiter les causes de sinistres potentiels.

III. LA FIBRE DE BOIS



L'étude de l'isolant en fibre de bois s'intéresse à deux types d'utilisation :

- les panneaux ou rouleaux ;
- les fibres en vrac.

Il existe également du béton de bois et des parpaings de bois, mais ceux-ci ne seront pas abordés dans cette étude.

Les bois utilisés pour les isolants sont essentiellement des chutes de résineux. La production annuelle est de 15 000 à 20 000 tonnes environ, principalement réalisée par des groupes étrangers ayant développé des unités de production en France¹⁵.

15. Étude sur le secteur et les filières de production des matériaux et produits biosourcés utilisés dans la construction - Nomadéis - 2012

III.1 Matériau, produits et caractéristiques physiques

Les produits issus du matériau

L'isolant fibre de bois est obtenu par défibrage de chutes de bois résineux. L'assemblage des fibres peut être réalisé suivant 3 procédés :

- Un premier procédé consiste à assembler les fibres avec de l'eau et un adjuvant. L'ensemble est coulé, laminé, séché et découpé en panneaux ou en rouleaux.
- Un procédé à haute température permet de réduire l'utilisation des adjuvants.
- Le façonnage à sec est réservé pour des produits peu denses.

Les adjuvants sont en général des sels de bore, paraffines, polyurée, des sulfates d'ammonium, du latex,...¹⁶

L'isolant en fibre de bois se met en œuvre en rouleaux ou en panneaux entre ossatures, on recense plusieurs types de panneaux :

- panneaux ou rouleaux semi-rigides ;
- panneaux rigides ;
- panneaux haute densité pour support d'enduit.

L'isolant peut également se mettre en œuvre en vrac soufflé à sec dans des caissons fermés en pose verticale ou en vrac sur support horizontal.

Pour mémoire, les copeaux en vrac sont utilisés en remplissage pour une isolation horizontale et pour la fabrication de blocs de béton de bois. Les fibres pour enduits isolants sont en cours de développement.

Un procédé est actuellement à l'étude en Allemagne pour fabriquer des panneaux de mousse de bois : un gaz est injecté dans une pâte de bois obtenue à partir de chutes broyées, le produit en résultant a une résistance thermique équivalente à celle des mousses synthétiques avec un λ d'environ 0,030 W/mK. (Institut Fraunhofer Prix Green Tec Award 2015 du Ministère fédéral pour l'environnement dans la catégorie « Construction et habitat »).

Les techniques et les outils

Suivant le produit mis en œuvre, il convient d'utiliser les outils et accessoires adéquats préconisés par les fabricants.

Pour les fibres en panneaux ou en rouleaux, la découpe se fait avec une scie spécifique et une règle. Des accessoires de fixation spécialement adaptés doivent également être utilisés. entre montants d'ossatures verticales, horizontales ou en rampant pour l'isolation des murs, des planchers et des combles ; ils ne sont pas destinés à rester apparents.

La fibre de bois en vrac peut être mise en œuvre par insufflation dans des caissons verticaux ou soufflée horizontalement. La fibre est soufflée par des machines spécialement conçues et calibrées pour ce type de matériau, celles-ci doivent être réglées à chaque opération pour obtenir la densité requise.

16. Réhabilitation énergétique et matériaux biosourcés - état des lieux des connaissances, situation dans le Grand Est - Étude Arcanne pour le compte de EDF SA - novembre 2014

Les méthodes d'insufflation et de soufflage sont similaires aux méthodes employées pour la ouate de cellulose. Les embouts de soufflage sont placés en partie basse des caissons, afin de faire monter la fibre de bois, lui permettant ainsi de prendre la densité requise. Si les travaux sont correctement réalisés, il ne doit pas y avoir de tassement du produit donc pas d'apparition de ponts thermiques en partie haute des caissons.

Le soufflage horizontal se fait de la même façon dans les caissons constitués par les solives de plancher ou les supports de plafonds.

Le produit fibre de bois en vrac n'est pas encore utilisé très couramment, mais son développement est en cours.

Les produits vrac ou panneaux peuvent être mis en œuvre dans des caissons préfabriqués en atelier à partir de panneaux de bois (OSB, particules, contreplaqués,...) et livrés prêts à poser sur le chantier.

Caractéristiques physiques indicatives des produits

ROULEAUX et PANNEAUX SEMI-RIGIDES

Densité : $\rho = 35/40$ à 55 kg/m^3

Capacité thermique massique : $C_p = 2\,100 \text{ J/(kg.K)}$

Résistance thermique : $R = 5 \text{ m}^2.\text{K./W}$ pour 20 cm à 40 kg/m^3

Conductivité thermique : $\lambda = 0,038$ à $0,051 \text{ W/m.K}$

Perméabilité à la vapeur d'eau : $\mu = 1$ à 5

Hygroscopie : moyenne

Réaction au feu : E

Affaiblissement acoustique : $R_w = 46$ à 63 dB

Énergie grise : 60 à 220 kWh/m^3

FIBRES EN VRAC

Densité : $\rho = 28/45 \text{ kg/m}^3$ (suivant la situation mur, plafond, toiture)

Capacité thermique massique : $C_p = 2\,100 \text{ J/(kg.K)}$

Résistance thermique : $R = 4,5 \text{ m}^2.\text{K./W}$ pour 20 cm

Conductivité thermique : $\lambda = 0,038$ à $0,040 \text{ W/m.K}$

Perméabilité à la vapeur d'eau : $\mu = 1$ à 2

Hygroscopie : -

Réaction au feu : E

Affaiblissement acoustique : -

Énergie grise : -

PANNEAUX RIGIDES

Densité : $\rho = 120$ à 280 kg/m^3

Capacité thermique massique : $C_p = 2\,100 \text{ J/(kg.K)}$

Résistance thermique : $R = 4,30 \text{ m}^2.\text{K./W}$ pour 20 cm à 230 kg/m^3

Conductivité thermique : $\lambda = 0,038$ à $0,055 \text{ W/m.K}$

Perméabilité à la vapeur d'eau : $\mu = 5$

Hygroscopie : moyenne

Réaction au feu : E (M4)

Affaiblissement acoustique : -

Énergie grise : 60 à 220 kWh/m^3

III.2 État des Règles de l'art

Actuellement, il n'existe pas de Règles professionnelles pour la fibre de bois (que ce soit sous forme de vrac, panneau ou rouleau). L'ASIV (Association Syndicale des Industriels de l'Isolation Végétale) travaille sur la rédaction de Règles professionnelles d'isolation en fibres végétales.

Norme

- NF EN 13171 : Produits isolants thermiques pour le bâtiment - Produits manufacturés en fibres de bois - WF, janvier 2013.
- NF EN 622 : norme spécifique panneaux isolant en fibres de bois (source 3).

Avis techniques et autres certificats

Un certain nombre de produits possède un avis technique et un certificat ACERMI, voir la liste non exhaustive en annexe 2, Avis Techniques.

Divers

On recense plusieurs Cahiers de prescriptions techniques communes (CPT) pour les matériaux faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application :

- Cahier 3647 - novembre 2008 : Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique rapportée en planchers de greniers et combles perdus ;
- Cahier 3683 - avril 2011 : Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique de combles par soufflage d'isolant en vrac ;
- Cahier 3623 - novembre 2012 : Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique de murs par insufflation d'isolant en vrac ;
- Cahier 3728 - décembre 2012 : Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique de murs à l'aide de produits manufacturés à base de fibres végétales ou animales ;

FDS : quelques produits sont titulaires de Fiche de Données de Sécurité.

III.3 Les acteurs

Les organisations professionnelles

- ASIV (Association Syndicale des Industriels de l'Isolation Végétale) assure la représentation des fabricants de fibre de bois, mais aussi de laine de chanvre, ouate et lin et également d'un isolant à base de coton recyclé.
- Karibati travaille avec les acteurs des différentes filières de matériaux biosourcés...

Les fabricants

En France on trouve plusieurs fabricants qui proposent une gamme de produits : panneaux souples, semi-rigides, rigides, supports d'enduit, vrac, pour certains depuis de très nombreuses années.

Quelques fabricants étrangers ont développé des usines de fabrication en France, d'autres sont présents sur le territoire français en important leurs produits depuis leurs usines d'Allemagne ou de Slovaquie.

Les entreprises

Les produits isolants à base de fibres de bois sont assimilés à des produits conventionnels et toute entreprise qui pose de l'isolation est susceptible d'en mettre en œuvre.

Ces produits sont utilisés depuis des dizaines d'années dans les pays européens et en France certaines entreprises possèdent une expérience de plusieurs dizaines d'année également.

Les formations

Certains fabricants proposent des formations afin que les entreprises qui posent leurs produits soient correctement informées des méthodes d'application, de mise en œuvre et des précautions à respecter.

Par exemple, des formations pratiques de 2 jours sont proposées aux artisans sur les plateformes Praxibat ; des modules de formation pour la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre sont également envisagés.

III.4 Corrélation : desordres/non respect des Règles de l'art

L'isolation en panneaux de fibres de bois compressées représente la majorité des applications pour ce matériau. Les propos recueillis auprès d'un bureau d'études « la fibre de bois est comparable d'un point de vue technique à un isolant en fibres minérales », ainsi que ceux d'un fabricant « les matériaux mis sur le marché sont calibrés, certifiés et sont accompagnés de conditions de mise en œuvre », montrent que ces produits sont comparables à ceux conventionnellement utilisés.

L'isolation par soufflage est actuellement marginale, mais son développement semble s'intensifier.

Un seul avis technique a été recensé pour la technique du soufflage, il est par conséquent difficile de faire une corrélation entre la sinistralité et ces documents de référence.

Dégâts des eaux :

Nombre de sinistres constatés dus à un dégât des eaux viennent d'une mauvaise exécution de la mise en œuvre ou d'une conception inadaptée :

- absence de coupure de capillarité en pied de mur ;
- apport d'humidité non maîtrisée des autres corps d'état (chape, enduits, etc.)...

Les qualités hydrophile et hygroscopique de la fibre de bois permettent d'absorber un excès de vapeur d'eau, voire d'eau. Cependant en cas d'humidité excessive et prolongée, la putrescibilité du matériau le rend plus vulnérable au développement des moisissures.

En cas d'humidification de l'isolant en panneaux de fibres de bois, si celui-ci est mis dans de bonnes conditions de séchage, il retrouvera ses capacités thermiques à l'issue de la période de séchage.

Ponts thermiques :

Les désordres évoqués concernant des ponts thermiques se rapportent généralement à une mauvaise mise en œuvre des produits et/ou à une conception défailante :

- isolation des pieds de murs et des fondations ;
- découpage et mise en place des panneaux ;
- mauvais remplissage par insufflation des caissons verticaux...

Il est à noter que ces désordres ne sont pas spécifiques au matériau fibre de bois, mais peuvent ressortir de tous types d'isolants fibreux ou synthétiques.

Suivant la densité et la situation du produit utilisé, la fibre de bois peut attirer les rongeurs non par appétence, mais pour y faire leur nid comme pour la plupart des matériaux isolants. Les produits d'isolation verticale n'étant pas destinés à rester apparents, il convient donc d'être attentif au moment de la fermeture des complexes et de ne pas laisser de possibilité d'intrusion. Si l'isolant horizontal devait rester sans parement, la mise en place d'un film anti-poussière serait une solution à l'intrusion des rongeurs, ce film anti-poussière a également l'avantage de préserver la durabilité et les qualités du produit.

DÉSORDRES CONSTATÉS	ORIGINE DÉSORDRES	PRÉCONISATION	TEXTES
Matériaux humides, mouillés voire dégradés avant mise en œuvre suite à transport et/ou stockage non protégés	chantier	Transporter et stocker à l'abri des intempéries Contrôle du taux d'humidité Préserver les emballages	ATec
Dégâts des eaux pendant le chantier <i>voir photos 18 19 20</i>	chantier	Protection à l'eau des ouvrages, tant que la finition extérieure n'est pas réalisée	ATec
Dégradations dues à une humidité confinée	chantier et intervention ultérieure	Attention au percement des membranes d'étanchéité à l'air et des membranes pare-pluie Utilisation de films d'étanchéité à l'air adaptés	
Remontées capillaires et pénétrations d'eau par les points de jonctions et les interfaces	conception et chantier	Être attentif à tous les points de jonction et aux interfaces, employer les accessoires adéquats mis à disposition par les fabricants	ATec
Apparition de champignons (mérule) et moisissures dus à des arrivées d'eau ou à un dégât des eaux accidentel	conception et chantier	Être vigilant lors du traitement des interfaces, coupure de capillarité, joints en périphérie des ouvertures,...	
Attaque de termites	conception et chantier	Mise en place de barrière anti-termites si nécessaire	
Ponts thermiques en ITI ou ITE Pose non jointive des panneaux d'isolant <i>voir photos 21 22 23 24</i>	chantier	Mise en place de barrière anti-termites si nécessaire	ATec



18. 19. 20. Tassement de la fibre de bois suite à une arrivée d'eau en toiture en cours de chantier



21. Mise en œuvre fantaisiste d'un isolant en fibre de bois : risque de ponts thermiques



22. Joints silicone entre panneaux de fibre de bois : risque de ponts thermiques



23. 24. Mauvaise mise en œuvre : plaques abîmées - plaques non jointives - fixations dans les joints - nombre de fixations non conformes -...

III.5 La fibre de bois face au risque incendie

La fibre de bois se consume mais ne brûle pas. Aucun essai (type Lepir) de solution constructive n'ayant à ce jour été réalisé, le matériau fibre de bois ne peut pas être mis en œuvre dans toutes les situations, notamment en immeubles de grande hauteur.

Cependant, des essais CSTB/FCBA réalisés dans le cadre du « plan bois » ont récemment montré que l'utilisation de la fibre de bois, en tant qu'isolant dans des éprouvettes de parois de murs et de plancher n'avait pas d'incidence sur le comportement général au feu de la paroi.

Il semble que l'organisation professionnelle (ASIV) travaille sur la question d'un système constructif qui permettrait d'utiliser plus largement ce matériau.

Avis technique

La question de la sécurité incendie est évoquée à plusieurs reprises dans les Avis Techniques des produits soumis :

- Sécurité incendie - Dispositions générales ;
- Conditions de mise en œuvre :
 - conduits de fumée : il y a lieu de ne pas mettre le matériau en contact avec des conduits de fumée. Il convient de respecter la distance de sécurité minimale de 18 cm prévue au Dossier Technique.

- canalisations électriques et dispositifs électriques : Il faut s'assurer que les canalisations électriques posées dans les vides de construction sont placées sous conduit non propagateur de la flamme (P) ;

- spots encastrés et sources ponctuelles de chaleur : l'isolant peut induire un risque d'échauffement local non maîtrisé. Il convient de respecter les dispositions prévues au Dossier Technique en matière de protection de ces spots ;

- Traitement des éléments dégageant de la chaleur ;
- Traitement des dispositifs d'éclairages encastrés avec croquis à l'appui ;
- Information des intervenants ultérieurs.

Une étiquette signalétique doit être appliquée sur les tableaux électriques à destination des futurs corps de métiers intervenant dans le bâtiment où a été appliquée la fibre de bois. Cette étiquette doit expliquer les risques d'incendies et les bons gestes concernant la pose d'éléments électriques ou dégageant de la chaleur.

DÉSORDRES CONSTATÉS	ORIGINE DÉSORDRES	PRÉCONISATION	TEXTES
FIBRE EN PANNEAUX OU ROULEAUX - SOUFFLAGE HORIZONTAL			
Incendies causés par : <ul style="list-style-type: none"> ■ foyers lumineux encastrés non capotés <ul style="list-style-type: none"> ■ proximité avec des éléments métalliques surchauffés (conduits de fumées, conduits de hotte aspirantes, costières métalliques de couverture,...) 	conception, chantier	Utiliser les capots de protection pour luminaires encastrés prescrits et/ou fournis par les fabricants. Respecter les écarts au feu préconisés pour les conduits de fumées et autres équipements dégageant de la chaleur	ATec
Incendie par combustion lente suite à utilisation d'outils produisant des étincelles ou de la flamme.	conception, chantier, intervention ultérieure	Réglementer l'utilisation d'appareils et d'outils produisant des étincelles à proximité de l'isolant. Interdire de fumer sur le chantier.	

III.6 Conclusion sur le matériau fibre de bois

Il semble que la fibre de bois sous forme de flocons en vrac à souffler ou insuffler soit amenée à se développer, étant un produit moins onéreux que les panneaux. Il conviendra d'être attentif à ce développement car les problématiques pourraient être les mêmes que celles relevées pour la ouate de cellulose.

Le seul avis technique recensé concernant la technique du soufflage de produit en vrac souligne à plusieurs reprises les précautions à prendre et propose des solutions techniques appropriées.

Certains fabricants proposent des formations aux applicateurs. Ces formations permettent aux participants de mettre en pratique les acquis théoriques sur des plateformes dédiées (type Praxibat) ; la mise en œuvre des produits sous forme de maquettes grandeur nature favorise l'acquisition des gestes et des bonnes pratiques

La démultiplication de ces formations auprès des entreprises et artisans qui posent ces produits, soit en vrac, soit en panneaux ou rouleaux en ITE ou ITI, permettrait la diffusion de la connaissance des causes de désordres, voire de sinistres possibles et la sensibilisation à la bonne exécution des ouvrages, dans le respect des préconisations fabricants et des prescriptions des Avis Techniques.

Une attention plus soutenue portée à la conception des ouvrages par la maîtrise d'œuvre (architectes, bureaux d'études, maîtres d'œuvre) ainsi qu'à la réalisation par les entreprises limiterait considérablement la sinistralité d'un produit tel que la fibre de bois.

IV. LA OUATE DE CELLULOSE



La ouate de cellulose est utilisée en isolation sous 3 formes :

- en panneaux ;
- en flocons en vrac à souffler ou insuffler ;
- en flocons en vrac pour projection humide.

Les trois types de mise en œuvre sont abordés dans cette étude.

La production de ouate de cellulose en vrac s'élevait à 30 000 tonnes en France en 2011 pour 45 000 tonnes vendues¹⁷. D'après le syndicat ECIMA 50 000 tonnes ont été vendues en France en 2014.

17. Étude sur le secteur et les filières de production des matériaux et produits biosourcés utilisés dans la construction - Nomadéis - 2012

IV.1 Matériau, produits et caractéristiques physiques

Les produits issus du matériau

La ouate de cellulose en vrac est fabriquée à partir de papier recyclé (journaux invendus), broyé et défibré, il est stabilisé pour résister au feu et aux moisissures par incorporation d'adjuvants¹⁸.

Les panneaux semi-rigides sont constitués à partir de vrac passé sous presse et calibré pour proposer différentes épaisseurs.

La ouate peut également être fabriquée à partir de carton recyclé. Cette nouvelle filière compte une première unité de production depuis début 2015 dans la région Bourgogne (Chalon-sur-Saône).

Les techniques et les outils

La ouate de cellulose se présentant sous deux aspects, vrac et panneaux, les techniques de mise en œuvre sont spécifiques à ces produits.

Les panneaux sont mis en place entre des ossatures, ils ne sont pas destinés à rester apparents. Les fabricants mettent à disposition des poseurs des outils de découpe adaptés, scie ou couteau permettant une découpe nette et propre des panneaux. Des accessoires de fixation sont également disponibles pour une mise en œuvre conforme aux exigences du fabricant.

L'isolant en vrac peut être mis en œuvre soit par insufflation dans des caissons verticaux, soit soufflé sur des surfaces horizontales. Il peut être mis en œuvre en atelier dans des caissons préfabriqués qui seront livrés prêts à poser sur le chantier.

Il peut également être projeté humide verticalement ou horizontalement. Les machines sont adaptées à la technique retenue.

- **Insufflation verticale** : dans des caissons fabriqués in situ, les films ou les parements rigides verticaux permettent le remplissage qui doit toujours se faire avec l'embout de soufflage en partie basse des caissons pour faire monter l'isolant dans le caisson, lui donnant ainsi la densité requise lors du réglage de la machine. Une réservation est pratiquée en partie haute du panneau ou du film pour permettre le passage du tuyau d'alimentation. À la fin de l'opération d'insufflation, l'élément découpé dans le panneau de bois ou le film sera remis en place et collé avec un matériau collant adapté afin de reboucher parfaitement la réservation.
- **Soufflage horizontal en comble ou en plancher** : réalisé également dans des caissons constitués par les solives de plancher. L'application se fait en posant la buse de soufflage au sol pour faire monter l'isolant de façon à lui faire prendre la densité requise, l'avantage est également de ne pas provoquer de poussière (ce qui se produit obligatoirement en cas « d'arrosage » de la zone à isoler).
- **Caissons préfabriqués** : ils sont construits à partir de panneaux (OSB, particules, contreplaqués,...) assemblés en coffre contenant l'isolant, ils sont livrés fermés sur le chantier, prêts à recevoir la finition.
- **Projection humide verticale ou horizontale** : le produit est mélangé à un brouillard d'eau au moment de la projection, ce qui est suffisant pour activer la lignine, liant naturel contenu dans la ouate de cellulose. Cette technique peut s'appliquer en neuf ou rénovation sur tous supports.

¹⁸ Réhabilitation énergétique et matériaux biosourcés - état des lieux des connaissances, situation dans le Grand Est - Étude Arcanne pour le compte de EDF SA - novembre 2014

Caractéristiques physiques indicatives des produits

PANNEAUX

Densité : $\rho = 40$ à 70 kg/m^3
 Capacité thermique massique : $C_p = 2\,000 \text{ J/(kg.K)}$
 Résistance thermique : $R = 5 \text{ m}^2.\text{K./W}$ pour 20 cm
 Conductivité thermique : $\lambda = 0,039 \text{ W/m.K}$
 Perméabilité à la vapeur d'eau : $\mu = 2$
 Hygroscopie : 15 % du poids
 Réaction au feu : C-s2,d0
 Affaiblissement acoustique : $R_w = 40 \text{ dB}$
 Énergie grise : 6 à 20 kWh/m^3

VRAC

Densité : $\rho = 30$ à 60 kg/m^3
 Capacité thermique massique : $C_p = 1600 \text{ J/(kg.K)}$
 Résistance thermique : $R = 4 \text{ m}^2.\text{K./W}$ pour 20 cm
 Conductivité thermique : $\lambda = 0,039$ à $0,041 \text{ W/m.K}$
 Perméabilité à la vapeur d'eau : $\mu = 1$
 Hygroscopie : 15 % du poids
 Réaction au feu : C-s2, d0
 Affaiblissement acoustique : -
 Énergie grise : 6 à 20 kWh/m^3

IV.2 État des Règles de l'art

Il n'existe pas de Règles professionnelles concernant ce matériau et ses différents types d'emploi. Cependant on recense un certain nombre de textes réglementaires.

Le CSTB demande que l'isolation en ouate de cellulose passe en concept de traditionnalité à travers des Règles professionnelles ou un DTU.

Norme

- NF EN 15101-1 et NF EN 15101-2 : Produits isolants thermiques destinés aux applications du bâtiment - Isolation thermique formée en place à base de cellulose.

Avis techniques et autres certificats

Un certain nombre de fabricants détiennent des Avis Techniques ainsi que des certificats ACERMI pour leurs différents produits, voir la liste non exhaustive en annexe 2, Avis techniques.

Divers

On recense plusieurs Cahiers de prescriptions techniques communes (CPT) pour les matériaux faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application :

- Cahier 3647 - novembre 2008 : Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique rapportée en planchers de greniers et combles perdus,
- Cahier 3683 - avril 2011 : Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique de combles par soufflage d'isolant en vrac,
- Cahier 3623 - novembre 2012 : Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique de murs par insufflation d'isolant en vrac,

FDES : plusieurs produits sont titulaires d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire.

IV.3 Les acteurs

Les organisations professionnelles

ECIMA : syndicat européen des producteurs de ouate - 4 membres (dont 3 fabricants) - le site présente l'organisation syndicale, propose des conseils pratiques et des formations

- ASIV (Association Syndicale des Industriels de l'Isolation Végétale) assure la représentation des fabricants principalement fibre de bois mais aussi de laine de chanvre, ouate et lin et également d'un isolant à base de coton recyclé.
- Karibati travaille avec les acteurs des différentes filières de matériaux biosourcés.

Les fabricants

En France on trouve plusieurs fabricants, y compris sous contrat de licence étrangère. Certains fabricants étrangers ont développé des usines de fabrication en France. Leurs gammes comportent des produits « ouate de cellulose » (vrac et panneaux) bien que l'essentiel de la production soit constituée d'isolants en fibre de bois.

D'autres fabricants étrangers présents sur le territoire français, importent les produits depuis leurs usines à l'étranger.

Certains fabricants proposent des produits composés : ouate de cellulose/textile recyclé - ouate de cellulose/chanvre,...

Les entreprises

Les produits isolants en ouate de cellulose sont assimilés à des produits conventionnels et toute entreprise qui pose de l'isolation est susceptible d'en mettre en œuvre.

Les fabricants regroupés au sein du syndicat ECIMA proposent des formations afin que les entreprises qui mettent en œuvre leurs produits soient correctement informées des méthodes, des techniques et des précautions à respecter.

Les formations

Outre les formations des fabricants mentionnées ci-dessus, on recense des formations proposées par un réseau d'applicateurs qui dispose d'un centre de formation pour les artisans qui souhaitent rejoindre le réseau. La formation se déroule sur deux jours pendant lesquels sont abordés les aspects théoriques et pratiques de la mise en œuvre de la ouate de cellulose.

On recense également des formations initiales spécialisées dans la mise en œuvre de matériaux isolants biosourcés.

Le syndicat estime que pour 2012, environ 500 applicateurs ont été formés (code NAF 4329A Travaux d'isolation). Une entreprise vosgienne qui pose de la ouate de cellulose depuis plus de 30 années fait suivre une formation en interne à ses nouveaux employés, cette formation s'effectue sur le chantier en binôme avec un applicateur confirmé pendant une année minimum.

IV.4 Corrélation : desordres/non respect des Règles de l'art

La ouate de cellulose est employée sous deux états différents :

- humide : pour projection ;
- sèche : en insufflation verticale, soufflage horizontal, remplissage de caissons préfabriqués et accessoirement en panneaux.

Les sinistres rencontrés sont donc de différentes natures. Cependant, la sensibilité à l'eau reste identique quelle que soit la technique de mise en œuvre.

Dégâts des eaux :

Les désordres et sinistres relevés après la réception et pendant la vie de l'ouvrage sont pour l'essentiel dus à des dégâts des eaux engendrés par des erreurs de conception mais principalement par des défaillances d'attention pendant la période de chantier et/ou par de mauvaises techniques de mise en œuvre.

Certains « accidents » lors de la vie en œuvre peuvent également affecter l'isolant.

Il convient de noter que ces désordres et sinistres dus à des dégâts des eaux ne sont pas spécifiques à la ouate de cellulose, ils peuvent toucher tout type d'isolant fibreux. Le caractère hydrophile et hygroscopique doublé de l'aspect putrescible de la ouate de cellulose peuvent éventuellement accélérer l'apparition du désordre ou aggraver le sinistre.

Les ouates de cellulose, comme d'autres produits isolants biosourcés ou non, reçoivent un traitement antifongique sous forme d'adjuvants, cependant ces produits sont en général solubles dans l'eau donc inefficaces en cas de dégât des eaux. À l'heure actuelle, il n'est pas connu d'antifongique insoluble.

En cas d'humidification des panneaux d'isolant en ouate de cellulose, si ceux-ci sont mis dans de bonnes conditions de séchage, ils retrouveront leurs capacités thermiques à l'issue de la période de séchage.

Ponts thermiques :

Il semblerait qu'une proportion relativement importante de réalisations d'isolation en ouate de cellulose insufflée soit l'objet d'apparition de ponts thermiques dans le temps.

Or l'apparition de ces ponts thermiques, notamment en partie supérieure des caissons d'insufflation, est due à plusieurs causes qui peuvent être réunies :

- mauvaise mise en œuvre ;
- qualité médiocre du produit (plus les fibres sont longues, mieux elles enferment l'air et moins elles se tassent à la mise en œuvre) ;
- tassement trop important du produit dans les sacs de livraison, qui lui fait perdre son « gonflant » ;
- mauvais réglage de la machine à insuffler.

Certains fabricants ont procédé à des contrôles par carottage pour suivre des opérations réalisées avec leurs produits et ont ainsi montré qu'il n'y avait pas de tassement si la mise en œuvre respectait les prescriptions du fabricant.

Cette constatation a été confirmée :

- par un applicateur/formateur indépendant ;
- par une entreprise spécialisée dans l'application de ouate de cellulose depuis plusieurs décennies.

Ce fabricant garantit le non-tassement du produit dans la mesure où les travaux sont réalisés dans les règles de l'art et les masses volumiques respectées.

La mise en œuvre :

La buse d'insufflation doit être posée en partie basse du caisson de façon à laisser « monter » la ouate qui prend ainsi la densité requise ; si la ouate est soufflée depuis le haut, la densité ne pourra pas être régulièrement répartie, un tassement se fera et le pont thermique apparaîtra en partie supérieure.

La présence d'obstacles dans les caissons : canalisations, gaines, fourreaux, boîtes diverses peuvent empêcher la répartition correcte de la ouate.

La surface trop rugueuse des panneaux formant caisson peut également être source de mauvaise répartition, la ouate d'accrochant aux parois.

La ouate de cellulose, tout comme n'importe quel isolant fibreux, peut attirer les rongeurs non par appétence, mais pour y faire leur nid. Les produits d'isolation verticale n'étant pas destinés à rester apparents, il convient donc d'être attentif au moment de la fermeture des complexes et de ne pas laisser de possibilité d'intrusion. Si l'isolant horizontal devait rester apparent, la réalisation d'une croûte superficielle par aspersion d'un brouillard d'eau sur la ouate peut être une solution. Le « croûtage » superficiel peut également être appliqué dans le cas de combles ventilés pour éviter tout mouvement de l'isolant après son application. La mise en place d'un film anti-poussière est une solution idéale ; elle permet de pallier à tout mouvement du produit, empêche l'intrusion des rongeurs, préserve l'isolant de la poussière, garantissant ainsi la durabilité et les qualités du produit.

Tableau synthétique des entretiens

- La première colonne du tableau ci-dessous recense les désordres recueillis lors des entretiens menés auprès des professionnels spécialistes des différents matériaux (architectes, bureaux d'études, bureaux de contrôle, entreprises, artisans, fabricants, formateurs, négociants, assureurs,...).
- La colonne « Origine des désordres » définit à quelle période de l'opération ces désordres sont rattachés (conception, fabrication, chantier, vie en œuvre,...), même s'ils apparaissent à une période ultérieure à l'origine - Exemple : un défaut de conception peut faire ressortir un désordre pendant la période de chantier.
- La colonne « Préconisations » propose les bonnes pratiques à adopter en regard des désordres rencontrés.
- La dernière colonne fait référence aux règles de l'art qui traitent du point particulier relevé (ATec : avis technique - RP : Règles professionnelles - CPT cahier des prescriptions techniques).

DÉSORDRES CONSTATÉS	ORIGINE DESORDRES	PRÉCONISATION	TEXTES
PROJECTION HUMIDE			
Micro-fissuration, voire décollement aux interfaces ouate/ossature	chantier	Respecter les taux d'humidification de la ouate pour une bonne mise en œuvre	
Apparition de moisissures <i>voir photo 25</i>	chantier	Respect des temps de séchage et mise en place d'une ventilation adaptée avant fermeture des caissons. Respect des taux d'humidification	ATec



25. Développement de moisissures sur une façade orientée au nord



26. 27. Tassement de la ouate de cellulose dans les caissons verticaux, mauvaise mise en œuvre



INSUFFLATION VERTICALE ET SOUFFLAGE HORIZONTAL

Matériaux humides, mouillés voire dégradés avant mise en œuvre suite à transport et/ou stockage non protégés	chantier	Transporter et stocker à l'abri des intempéries. Contrôler le taux d'humidité de la ouate. Durée maximale de stockage : 6 mois à l'abri Pas de mise en œuvre de matériau humide	ATec
Apparition de champignons (mérule) et moisissures dus à des arrivées d'eau ou à un dégât des eaux accidentel	conception et chantier	Être vigilant lors du traitement des interfaces, coupure de capillarité, joints en périphérie des ouvertures,... Utiliser les produits adaptés à la situation	ATec
Humidification de la ouate après mise en œuvre suite à des intempéries	conception et chantier	Protection des zones isolées en ouate de cellulose (toiture, plancher, film de protection,...)	ATec CPT
Déplacement d'isolant lors d'épisodes venteux	conception et chantier	Protection de l'isolant soufflé après mise en œuvre dans des combles aérés ou très ventilés	ATec
Déplacement et tassement de l'isolant dans les caissons provoquant des ponts thermiques	conception et chantier	Rebouchage des orifices d'insufflation avec les éléments découpés dans la membrane ou le panneau, collage des éléments avec un produit adapté au support. Mise en œuvre d'un contre-lattage adapté dans le cas d'utilisation de membrane en guise de paroi de caissons.	ATec
Tassement de l'isolant dans les caissons verticaux dû à une mauvaise insufflation Tassement de l'isolation horizontale en combles dû à un mauvais soufflage <i>voir photos 26 27</i>	chantier	Respecter des règles de mise en œuvre de l'insufflation ou du soufflage. Calibrer la machine à souffler ou à insuffler suivant les densités requises. Éviter la présence d'obstacles dans les caissons verticaux et sur le sol des combles à souffler (canalisations, fixations,...)	CPT
Tassement de l'isolant sur cheminement d'accès aux installations techniques	conception et chantier	Créer un chemin d'accès aux équipements techniques, pour interventions ultérieures, au-dessus de l'isolant afin d'éviter le piétinement.	
Manque isolant sur cheminement d'accès aux installations techniques	conception et chantier	Créer un chemin d'accès aux équipements techniques, pour interventions ultérieures, au-dessus de l'isolant afin d'éviter l'enlèvement ou le piétinement des panneaux d'isolant.	
Ponts thermiques suite à pose non jointive des panneaux d'isolant	chantier	Être attentif à la pose des panneaux. Utiliser les outils de découpe et de fixation mis à disposition par les fabricants.	

IV.4 La ouate de cellulose et le risque incendie

« La ouate de cellulose n'est pas mise en cause directement mais la méconnaissance de son risque d'inflammation et le non-respect des conditions de pose préconisées (ex : écart au feu) par le fabricant engendre un risque supplémentaire.¹⁹ »

Quelques types de sinistres liés à l'incendie ont également été recensés lors des entretiens avec les professionnels, il apparaît que la plupart du temps ceux-ci sont dus à des défauts de mise en œuvre, à des défauts d'attention et au non-respect des règles de l'art, des prescriptions des fabricants ou des préconisations des Avis Techniques.

La Mutuelle des Architectes Français Assurances interrogée sur les sinistres liés à l'utilisation de matériaux isolants biosourcés répond qu'une douzaine de sinistres concerne ces matériaux sur les 50 000 sinistres répertoriés (toutes origines confondues) actuellement en cours. Sur ces 12 sinistres recensés, 10 sont des incendies dont 3 concernent la ouate de cellulose (2 sont dus à des défauts de mise en œuvre : spots encastrés non capotés, défaut d'écart au feu du conduit de fumée. L'origine du 3^e n'a pas été déterminée).

Cette information communiquée par la MAF, n'a pas de valeur statistique, c'est une simple indication montrant que les isolants biosourcés ne sont pas particulièrement vecteurs de sinistres, que le risque incendie est avéré mais qu'il ne constitue pas l'essentiel de la sinistralité affectant les isolants biosourcés et la ouate de cellulose en particulier.

DÉSORDRES CONSTATÉS	ORIGINE DÉSORDRES	PRÉCONISATION	TEXTES
INSUFFLATION VERTICALE ET SOUFFLAGE HORIZONTAL			
Incendies liés à la proximité de conduit de fumée, hotte aspirante,...	conception, chantier et intervention ultérieure	Respecter les consignes de mise en œuvre autour de ces installations: distance d'écart au feu + complément d'isolation avec un matériau ininflammable.	AT
Incendies liés à l'utilisation de luminaires encastrés	conception, chantier et intervention ultérieure	Respecter les consignes de mise en œuvre autour de ces produits: utilisation des protections spécialisées (pots en matériaux ininflammables) ou création d'un plenum.	AT
Incendie suite à utilisation d'outils produisant des étincelles ou de la flamme	conception, chantier et intervention ultérieure	Réglementer l'utilisation d'appareils produisant des étincelles à proximité de l'isolant. Vérifier que les canalisations éventuelles sont situées hors gel ou peuvent être vidangées (cela évitera par exemple l'utilisation d'un chalumeau pour dégeler une conduite prise par le gel)	CPT

19. Matériaux biosourcés et vulnérabilité des bâtiments - Veille Technologique - VT 005-12 - Note d'information du CNPP à la FFSA - 09/2013 - p. 38
20. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_resistance_au_feu_parois_ecrans-_decembre_2012.pdf - Tableau 3.1.1. Durée de résistance au feu des maquettes des parois testées

Il ressort des résultats des essais de résistance au feu réalisés dans le cadre du « Plan Bois 1 » supervisé par la DHUP que la ouate de cellulose préserve les ossatures bois de la structure plus longtemps qu'une laine de verre²⁰. Ce constat est confirmé par des pompiers qui ont pu vérifier le confinement d'un feu grâce à l'isolant ouate de cellulose.

D'une part, la densité combinée à la capacité massique empêchent le flux d'air, donc l'apport de comburant (oxygène) rendant ainsi la combustion difficile voire impossible - au moins pendant une période. D'autre part, la capacité thermique importante piège les calories, retardant ainsi la déclaration de l'incendie.

Au-delà d'une certaine température (~170°) les éléments de charpente prennent feu, entraînant l'incendie de l'isolant.

Ces conditions d'élévation de température peuvent créer une situation de feu couvant, difficile à détecter et favorisant le risque de déclenchement brutal d'un incendie. Cette problématique est abordée dans une FDS (fiche de données de sécurité) :

■ Identification des dangers

2.1.3. Autres effets néfastes : [...] Le produit est combustible et a été traité avec un produit ignifuge pour améliorer le comportement au feu. Un risque d'incendie en cas de contact direct avec une flamme n'est pas exclu. Éviter tout échauffement prolongé supérieur à 80 °C car en cas d'accumulation de chaleur, un risque de feu couvant ou rampant n'est pas exclu.

Le risque incendie étant avéré, il convient d'appliquer avec attention les préconisations des fabricants et de respecter les Avis Techniques tant du point de vue de la prescription que du point de vue de la mise en œuvre.

IV.6 Conclusion sur le matériau ouate de cellulose

La mise en observation, en 2012, du matériau ouate de cellulose, a permis à l'ECIMA de réaliser avec l'AQC un travail important et constructif. Ainsi, le défaut de formation des entreprises qui mettent en œuvre ce produit semble ressortir et cela malgré les offres de formation faites par les fabricants et certains fournisseurs.

La mise en observation portait principalement sur une forte « sinistralité d'incendie non négligeable due au fait que les personnes (maîtres d'ouvrage ou entrepreneurs) ne sont pas sensibilisées à la spécificité de ce matériau. Ne sont pas suffisamment pris en compte les éléments de protection au feu indispensables à la mise en œuvre en complément de l'isolant ».

La sortie de la mise en observation et l'inscription des procédés en liste verte se sont faites suite à la mise en place par les fabricants de :

- la sensibilisation durant la formation à cette problématique ;
- la diffusion des consignes de base par rapport aux points chauds ;
- la présence systématique sur chaque palette de produit des fiches de chantier et des étiquettes avertisseuses pour tableau électrique ;
- la commercialisation par les fabricants de ouate d'un capot de protection à mettre à l'arrière des spots encastrés.

Le syndicat envisage d'élargir le plan de communication en ajoutant d'autres supports d'information pour toucher plus largement les utilisateurs de la ouate de cellulose, tant professionnels que particuliers.

Si les fiches de chantiers et les étiquettes avertisseuses semblent généralisées à l'ensemble des fabricants, certaines entreprises montrent une réticence à compléter ces fiches de chantier qui représentent un travail supplémentaire. Il conviendrait donc de trouver une solution pour que ce moyen de vérification soit systématiquement utilisé.

V. RELEVÉ DES BONNES PRATIQUES

Il ressort de l'étude de sinistralité des quatre matériaux isolants biosourcés : la paille, le chanvre, la fibre de bois, la ouate de cellulose, que la majeure partie des désordres et sinistres recensés sont dus à des défauts de mise en œuvre, à des défauts de conception et/ou des défauts de prescription induisant une mauvaise mise en œuvre.

Les désordres et sinistres constatés pendant la vie en œuvre des constructions sont quant à eux également causés par de mauvaises mises en œuvre, des défauts de conception et parfois une utilisation hasardeuse. Mais ils peuvent également être provoqués par des interventions *a posteriori* ; on pense par exemple à la construction en béton de chanvre où des plans de récolement insuffisamment précis ont participé à l'apparition de désordres lors de la fixation d'équipements lourds (volets vérandas, stores,...) sur les structures porteuses qui n'ont pas pu être correctement situées ; on pense également à l'installation d'éclairage encastré ou de conduits de fumée à travers une isolation de combles en ouate de cellulose, laine de bois soufflée ou laine de chanvre pour lesquels l'électricien ou le chauffagiste n'a pas eu d'indications de préconisations spécifiques.

Toutefois, l'emploi de ces matériaux depuis de nombreuses décennies s'accompagne de bonnes pratiques et de règles de l'art qu'il convient de respecter afin d'éviter tout désordre, voire tout sinistre.

Tout comme les matériaux conventionnels, les isolants biosourcés nécessitent une attention tant du point de vue de la conception, de la préfabrication quand elle est prévue, que de la réalisation.

Quelques pistes de bonnes pratiques sont recensées ici, elles ont été relevées lors des entretiens menés avec les professionnels spécialistes de ces différents matériaux, elles sont aussi issues de la lecture des Avis Techniques, prescriptions techniques particulières et autres documents comme les Règles professionnelles. Le premier chapitre s'attachera à recenser quelques bonnes pratiques concernant les quatre matériaux, les chapitres suivants s'arrêteront sur les pratiques spécifiques à chacun des matériaux.

Ces bonnes pratiques décrites ci-après ne sont pas exhaustives, la lecture et l'application des textes de référence seront toujours d'un intérêt primordial pour la bonne conception des ouvrages et l'exécution correcte des travaux.

V.1 Les bonnes pratiques communes aux quatre matériaux

Formation des acteurs

Il ressort d'une grande majorité d'entretiens que la formation des acteurs, maîtrise d'œuvre, entreprises, voire maîtrise d'ouvrage, est indispensable à la bonne conception et à la bonne réalisation des ouvrages mettant en œuvre des matériaux isolants biosourcés.

Bon nombre de formations existent tant du côté de la formation initiale que de la formation continue. Les fabricants et les fournisseurs offrent des stages de mise en pratique aux entreprises qui souhaitent utiliser ces produits. Certaines filières, comme la paille ou le chanvre exigent une formation pour les praticiens tant de la conception que de la réalisation ; l'obligation de formation fait partie des Règles professionnelles.

Préparation du chantier

Avant toute intervention, les entreprises devront se rendre compte de l'état des lieux, notamment lors d'une rénovation ou d'une réhabilitation énergétique. Quelques précautions et bonnes pratiques sont à observer :

- Enlèvement des anciens isolants, même s'ils paraissent encore en bon état. L'accumulation d'isolants de matières variées avec des caractéristiques physiques différentes peut être source de désordres ; leur comportement aux différentes conditions atmosphériques étant souvent incompatible.
- Canalisations situées dans ou à proximité des zones d'intervention : soit les isoler indépendamment pour les rendre insensibles au gel, soit faciliter leur vidange.

Interactions des différents corps d'état

Les entreprises intervenant sur un chantier dont l'isolation est en paille ou tout autre isolant biosourcé, doivent en avoir connaissance afin d'adapter leurs pratiques vis-à-vis de ces produits. Le respect mutuel du travail effectué est indispensable pour éviter les désordres et sinistres.

21. La paille est connue dans la construction en France depuis 1920, la ouate de cellulose aux États-Unis dans les années 1930 et depuis 1970 en France, la fibre de bois depuis le milieu des années 1940 en France. Le béton de chanvre est attesté en France dans le milieu des années 1960.

Coordination de chantier : Les tâches d'interface (maçonnerie/charpente/isolation, menuiserie/isolation, finitions intérieures/isolation,...) doivent être réglées de manière à ne pas porter atteinte à l'isolant et à ne pas créer de désordres de type ponts thermiques, percement de membrane, apparition de moisissures,....

La présence d'une coordination de chantier est une bonne façon d'anticiper les phases délicates et de programmer les tâches en fonction.

Les tâches spécifiques techniques : plomberie, électricité, chauffage, doivent être réalisées dans la connaissance et le respect de l'isolant mis en œuvre pour ne pas être cause de sinistres ou de désordres par l'utilisation malvenue de matériel vecteur d'étincelles ou de flammes, ou la mise en place d'équipements

producteurs de chaleur sans suivre les préconisations des fabricants et des textes de référence.

Là aussi, la coordination de chantier ainsi que la coordination sécurité protection de la santé, ont un rôle à jouer pour définir, par exemple, en accord avec tous les intervenants, les espaces de travail réservés, les zones de stockage, ...

Vie en œuvre - Maintenance - Entretien

L'utilisation et l'entretien d'une construction isolée en matériaux biosourcés s'apparentent à l'utilisation et à l'entretien de tout bâtiment avec quelques attentions supplémentaires, dues au caractère hygroscopique et putrescible des produits.

En cas de dégât des eaux (rupture de canalisation, fuite en toiture,...) un constat précis des zones atteintes doit être réalisé rapidement et les parties endommagées seront remplacées afin d'éviter le développement de moisissures.

Comme on l'a vu précédemment, les interventions ultérieures peuvent être source de désordre, voire de sinistre et l'emploi des fiches de chantier pour les isolants fibreux en combles, ainsi que l'apposition de l'étiquette avertisseuse sur les tableaux électriques et à l'entrée des combles est une bonne pratique qui permet aux électriciens notamment (mais aussi aux plombiers, chauffagistes,...) d'être informés qu'ils interviennent dans un environnement isolé avec des matériaux combustibles.

Des plans de récolement précis sont indispensables dans le cadre d'une construction en béton de chanvre et ossature bois, afin de trouver facilement la structure pour l'accrochage de tout équipement lourd tant à l'intérieur de la construction qu'à l'extérieur.

Concernant la vie dans le bâtiment, certaines situations peuvent être à l'origine de sinistres incendies. Par exemple, ne pas emménager dans une construction en paille dont les parements intérieurs ne sont pas réalisés, ne pas utiliser de matériel producteur de flammes ou d'étincelles dans une zone non protégée,...

Migration de l'eau et de la vapeur d'eau

Le sujet de la migration de la vapeur d'eau dans les parois fait actuellement l'objet de nombreuses études, la physique des murs est encore insuffisamment connue et donc insuffisamment maîtrisée. Cependant, quelques règles sont à respecter pour favoriser le bon comportement des parois isolées et étanches à l'air et préserver une qualité satisfaisante de l'air intérieur des constructions.

En principe, le transfert de vapeur d'eau se fait de l'intérieur vers l'extérieur en période hivernale et inversement de l'extérieur vers l'intérieur en période estivale. Les désordres qui pourraient apparaître dans l'épaisseur de la paroi sont dus à la condensation de la vapeur d'eau au niveau du point de rosée, l'emplacement de celui-ci dépendant essentiellement de la position de l'isolant (face intérieure ou face extérieure).

La présence d'eau dans le matériau n'est pas nécessairement dommageable si le point de rosée est situé suffisamment proche du parement extérieur de la paroi et peut bénéficier de l'apport solaire et de la ventilation naturelle pour permettre l'évaporation de cette eau de condensation, à condition que le parement extérieur soit capillaire.

On veillera à favoriser l'élimination de la vapeur d'eau de l'intérieur vers l'extérieur. Les matériaux mis en œuvre de l'intérieur vers l'extérieur devront être de plus en plus ouverts à la diffusion de vapeur d'eau et en contact continu les uns avec les autres.

Pare vapeur fermé :

La mise en œuvre d'un pare vapeur fermé à très fermé ($sd \geq 18$ m hors zones très froides - $sd \geq 57$ m zones très froides), comme il est recommandé dans les Avis Techniques et autres textes de référence (notamment CPT 3728 - décembre 2012), empêche la vapeur d'eau de transiter dans la paroi, à condition que l'ensemble de celle-ci soit parfaitement étanche - mise en œuvre parfaite du Pare vapeur. Si par mégarde une zone était fragilisée, la pression intérieure guiderait la vapeur d'eau à travers cette faille (percement de membrane, mauvais raccord entre deux ouvrages,...), favorisant ainsi la création d'une zone de condensation puisque l'ensemble de la vapeur d'eau devant transiter entre l'intérieur et l'extérieur utilisera ce passage devenant une « autoroute ».

Dans le cas de l'isolation par l'intérieur (ITI), la vapeur d'eau ainsi piégée dans l'isolant ne pourrait plus revenir en arrière lors de l'inversion de pression entre l'hiver et l'été. Le transit de la vapeur d'eau à travers la paroi se faisant d'abord dans l'isolant où il perd petit à petit ses calories et l'air froid ayant un point de saturation en vapeur d'eau plus bas que l'air chaud, la condensation risquera de se produire dans l'épaisseur de l'isolant.

Dans le cas de l'isolation par l'extérieur (ITE), la vapeur d'eau transitera à travers la paroi chaude puisque protégée par l'isolant, le trajet se poursuivra à travers l'isolant, l'air perdant petit à petit sa capacité de saturation, la position du point de rosée se trouvera rejetée à proximité du parement extérieur, bénéficiant ainsi de la possibilité d'évaporation si le pare-pluie est très ouvert à la vapeur d'eau, et l'enduit très ouvert à la vapeur d'eau et suffisamment capillaire.

Ces deux techniques d'isolation présentent chacune des avantages et des inconvénients qu'il convient de mettre en parallèle au moment du choix des matériaux isolants biosourcés. Ce mode opératoire d'isolation fonctionne comme une paroi de type Kway® (à noter qu'il nécessite la mise en place d'une ventilation pour permettre le renouvellement de l'air intérieur).

Membranes hygrovariables :

Les membranes d'étanchéité à l'air de type hygrovariable (sd 0,25 à > 25 m selon les marques) offrent un autre fonctionnement de la paroi. Les matériaux isolants biosourcés ayant une capacité hygroscopique importante, il semblerait que les membranes hygrovariables sont plus adaptées à leur utilisation, notamment en isolation par l'intérieur (ITI), permettant la variabilité du transfert de vapeur d'eau suivant la pression exercée sur la paroi :

- diffusion très fermée en période d'hiver dans le sens intérieur/extérieur (sd > 25 m) ;
- diffusion ouverte plus largement en période estivale dans le sens extérieur/intérieur (sd = 0,25 m).

Ce mode opératoire s'apparente au modèle Goretex® (à noter qu'il nécessite également la mise en place d'une ventilation pour permettre le renouvellement de l'air intérieur).

La mise en œuvre d'isolants biosourcés nécessite l'étude attentive des transferts de vapeur d'eau à travers les différentes couches de la paroi préconisée, notamment en isolation par l'intérieur (ITI). Faciliter la diffusion de la vapeur

d'eau de l'intérieur vers l'extérieur avec un facteur de 5 (sd de la paroi intérieure est 5 fois plus fermé que le sd de la paroi extérieure) peut être un axe de réflexion.

Dans les cas d'isolation par l'extérieur (ITE) et d'isolation répartie le transfert de vapeur d'eau se règle plus aisément, le caractère froid de la paroi extérieure étant annulé par la présence de l'isolant, la question de la condensation ne se pose pas de la même façon.

L'aide de logiciels spécialisés peut s'avérer très utile pour définir les caractéristiques et la position des matériaux à mettre en œuvre en accompagnement d'isolants biosourcés. Ces logiciels permettent la simulation du comportement de la paroi dans le temps, aidant ainsi à la décision pour éviter les risques et favoriser la pérennité des ouvrages.

Les matériaux biosourcés étudiés sont en général des matériaux hygroscopiques, ils sont capables d'adsorber et de restituer une part importante de vapeur d'eau au gré des conditions atmosphériques ambiantes, agissant comme des régulateurs hygrothermiques.

Utilisation de l'humidimètre

L'utilisation de l'humidimètre, si elle n'est pas une solution en soi est un bon indicateur et suivant le résultat obtenu, cela permet en cas de doute de devancer le développement de moisissures voire la pourriture de l'isolant dû à l'emprisonnement d'une humidité trop élevée.

Les Règles professionnelles et l'Avis Technique en font mention dans leurs préconisations.

■ Règles professionnelles :

§ 2.3 Récolte, conditionnement et teneur en eau de la paille : La teneur en eau des bottes... est déterminée au moyen d'un humidimètre conçu pour la paille... et équipé d'une sonde de longueur suffisante pour atteindre le cœur de la botte.

■ Avis technique :

§ 4.4 Mise en œuvre détaillée : Humidimètre à paille avec sonde de piquage.

Cette préconisation décrite pour la paille peut être valable pour les autres produits d'isolation biosourcés. Le matériel utilisé pour tester le taux d'humidité d'une isolation devra être adapté au matériau mis en œuvre.

V.2 Les bonnes pratiques spécifiques à la paille

La préfabrication des caissons

Pour les opérations concernant des bâtiments recevant du public ou des immeubles de logements, la technique de la botte de paille nue n'est plus employée. En règle générale la paille est enfermée dans des caissons, ce qui permet de préfabriquer des éléments de murs qui seront ensuite montés sur le chantier sans qu'apparaisse le moindre brin de paille.

Il convient malgré tout de bien prévoir la conception des caissons afin qu'en cas de stockage prolongé sans abri, les caissons ne soient pas atteints par un dégât des eaux.

Suivant le type de chantier et la proximité de l'atelier de fabrication, la livraison peut se faire à l'avancement ce qui réduit d'autant les risques liés aux intempéries ou à un mauvais stockage.

Une attention particulière doit être portée aux réservations nécessaires au levage des caissons, qui devront recevoir une protection provisoire aux intempéries. En effet, l'eau peut facilement pénétrer par ces réservations et mouiller la paille sans que l'on s'en rende compte immédiatement.

Par ailleurs, afin d'éviter les ponts thermiques aux interfaces entre caissons, des systèmes spécifiques ou des compléments d'isolation doivent être préconisés (poutre en I, poutre à âme isolée, raccord de caisson isolé,...).

Comportement des acteurs

La construction en paille reste malgré tout confidentielle, même si quelques grands ouvrages ont récemment été remarqués. Les acteurs de cette pratique : architectes, bureaux d'études, entreprises, sont plutôt militants, attentifs à la bonne mise en œuvre du matériau, compétents et formés aux différentes techniques.

La formation

Il y a obligation de formation pour les entreprises et maîtres d'œuvre qui prescrivent et mettent en œuvre de l'isolation en paille, cette obligation est stipulée dans les Règles professionnelles sous l'appellation « Formation Propaille ». La formation des formateurs est également prévue par le RFCP.

Retour d'expériences

Une procédure de suivi des actions de terrain est prévue dans les Règles professionnelles de Construction en Paille :

- fiches d'autocontrôle de qualité de mise en œuvre renseignées par l'entité en charge de la mise en œuvre ;
- fourniture au RFCP de ces fiches afin d'assurer un suivi statistique des pratiques de chantier.

Dans le cadre de l'acceptation des Règles professionnelles par la C2P, un retour d'expériences est prévu tous les deux ans, c'est l'occasion de faire le point sur la sinistralité et de prévoir ainsi l'évolution des textes.

V.3 Les bonnes pratiques spécifiques au chanvre

La préfabrication

La préfabrication d'éléments de construction en béton de chanvre existe sous différentes formes :

- les panneaux de façade ;
- les blocs sous formes de briques ou de parpaings.

Une technique de panneaux de façades propose des panneaux à bicomposants : béton pour la structure et béton de chanvre pour l'isolation. Ils sont préfabriqués en usine et assemblés sur le chantier après un temps de séchage de 6 à 8 semaines.

Plusieurs fabricants proposent des blocs de béton de chanvre qui sont assemblés sur le chantier comme des parpaings de ciment. Le liant entre blocs est appliqué à la truelle crantée ou au rouleau pour amincir le joint et limiter les ponts thermiques.

L'intérêt de ces deux méthodes de préfabrication est entre autres de réduire le temps de séchage des ouvrages réalisés puisque les éléments préfabriqués sont livrés secs et sont assemblés soit à sec pour les panneaux de façades soit à joint mince donc avec un faible apport d'eau pour les blocs.

Les blocs peuvent également être utilisés en forme isolante de sol.

La mécanisation

Le béton de chanvre dans l'application « mur » peut être projeté mécaniquement contre un support ou coffrage. L'eau étant introduite dans le mélange chaux-chanvre au dernier moment avant projection, l'apport d'eau est moindre que dans le cas d'une application manuelle où celle-ci est mélangée au couple chaux-chanvre dans une bétonnière. Cette technique de projection peut être intéressante pour réduire le temps de séchage et réaliser des ouvrages tout au long de l'année, hormis en périodes d'intempéries.

Comportement des acteurs

Il apparaît que les acteurs, architectes, entreprises, qui sont formés à ces techniques de béton et enduits de chanvre sont très impliqués et attentifs à la qualité des ouvrages auxquels ils participent.

Les différents acteurs d'une opération de construction isolée en chanvre doivent appliquer les Règles professionnelles tant du point de vue de la conception que du point de vue de la réalisation et doivent être attentifs aux conditions climatiques, saisonnières et régionales lors de la mise en œuvre.

La révision en cours des Règles professionnelles pourrait intégrer le retour d'expériences obligatoire et régulier, comme pour la filière paille, permettant de suivre la sinistralité et ses sources et faire évoluer les textes en conséquence.

La formation

L'obligation de formation ou la validation des acquis et expériences des personnes et des entreprises désireuses de prescrire ou de mettre en œuvre du béton de chanvre sont stipulées dans les Règles professionnelles. Certains modules de la formation proposée s'adressent spécifiquement aux artisans ou aux maîtres d'œuvre.

V.4 Les bonnes pratiques spécifiques à la fibre de bois

Les bonnes pratiques relevées dans l'utilisation de la fibre de bois sont d'ordre général et peuvent également être appliquées pour les autres isolants fibreux, biosourcés ou non :

- fiche de chantier d'isolation de combles
- étiquette avertisseuse sur tableau électrique et entrée de combles pour la fibre en vrac

Protection des isolants de combles

Dans les combles isolés en panneaux ou en vrac de fibre de bois, il est souhaitable de ne pas laisser les surfaces d'isolant à l'air libre. Si aucune finition de type plancher n'est prévue, il peut être intéressant de couvrir ces zones isolées horizontalement à l'aide d'un film anti-poussière qui permet :

- d'éviter l'accumulation de poussière sur l'isolant ;
- de barrer l'accès aux rongeurs pour y nicher ;
- de préserver les qualités de l'isolant ;
- de garantir sa pérennité.

Cependant, attention de ne pas compromettre le transfert de vapeur d'eau avec la mise en place d'un film inapproprié.

Cette pratique est également valable pour tout isolant fibreux, qu'il soit biosourcé ou non.

Protection des isolants extérieurs en période de chantier

Il est préférable d'éviter les périodes d'intempéries lors de la mise en œuvre des isolants par l'extérieur. Cela n'étant pas toujours possible, il convient dans ces cas particuliers de mettre en œuvre le pare-pluie au fur et à mesure de l'avancement de la pose des panneaux de fibre de bois afin d'éviter qu'ils soient gorgés d'eau ou simplement humides (cette méthode est valable pour tous les types d'isolants fibreux mis en œuvre par l'extérieur).

V.5 Les bonnes pratiques spécifiques la ouate de cellulose

Techniques d'application

Insufflation dans caissons verticaux :

La ouate de cellulose en isolation verticale est insufflée dans des caissons fermés par des panneaux d'aggloméré de bois ou des membranes d'étanchéité à l'air. Les bonnes pratiques relevées pour une application optimale, ne favorisant pas l'apparition de ponts thermiques en partie haute du caisson, sont de plusieurs ordres.

- Tout d'abord le choix du produit à mettre en œuvre. Il faut choisir une ouate de bonne qualité à fibres longues qui emprisonnent l'air plus aisément que des fibres courtes, voire de la poussière. Le taux de compression du produit dans les sacs de livraison est également important ; si la matière est trop tassée, les fibres sont abîmées et ne remplissent plus leur rôle.

- Ensuite il convient de bien préparer le chantier d'application. Le réglage de la machine doit se faire en accord avec les grilles de densité fournies par les fabricants ; après réglage, un test d'insufflation est effectué, puis le prélèvement d'une carotte de produit que l'on pèse permet de contrôler la densité obtenue. Si la comparaison entre les deux densités (souhaitée et mise en œuvre) donne un résultat égal, l'application peut commencer. Dans le cas contraire, la machine sera calibrée à nouveau et le test recommencé jusqu'à obtention de l'égalité des résultats.
- L'application doit se faire avec la buse d'insufflation située dans le fond du caisson de façon à faire « monter » la ouate qui prendra sa bonne densité. Il faut éviter l'utilisation de buses tournantes qui ne permettent pas une bonne homogénéité de la densité sur toute la hauteur du caisson.
- Les caissons doivent également répondre à des critères de qualité, la surface intérieure ne doit pas être trop rugueuse afin de ne pas freiner le passage de la ouate. Les caissons ne doivent pas recevoir de canalisations, fourreaux ou autres équipements qui pourraient empêcher la bonne répartition de la ouate.

En résumé, il n'y a pas de tassement du produit, donc pas d'apparition de ponts thermiques en tête de caisson :

- si la qualité de la ouate est adaptée (fibres longues),
- si la machine à souffler est correctement réglée,
- si l'application est réalisée suivant les prescriptions des fabricants,
- si les caissons sont sans aspérités et sans équipements encombrants,
- si les masses volumiques sont respectées,

Soufflage horizontal :

L'isolation des combles en ouate de cellulose soufflée est une technique régulièrement employée. Le tassement du matériau est d'emblée envisagé par le fabricant qui préconise des tables de densité pour un résultat optimal à terme après tassement. Les textes de référence prévoient un tassement de 20 %²², or l'idéal d'une bonne application fait état d'un tassement de 2 à 3 %.

Différents points sont à respecter pour obtenir un résultat :

- Comme pour l'insufflation verticale, la qualité de la ouate est primordiale. Préférer une ouate à fibre longue garantira un tassement moindre et par là un meilleur résultat.

- Le réglage de la machine à souffler est également indispensable. Chaque chantier, chaque produit, chaque machine a ses particularités et le test de démarrage de chantier avec pesage du prélèvement sont indispensables.

- La méthode d'application idéale consiste à poser le tuyau au sol afin de faire « monter » la ouate qui prend la bonne densité. Le soufflage par arrosage ne garantit pas cette densité, d'où les surépaisseurs imposées pour obtenir la densité requise après tassement. La méthode d'arrosage provoque également un excès de poussière qui n'a pas lieu avec la méthode de la buse au sol.

En résumé, le tassement est minime (2 à 3 %) et il n'y a pas de dégradation du coefficient R :

- si la qualité de la ouate est adaptée (fibres longues),
- si la machine à souffler est correctement réglée,
- si l'application est réalisée suivant les prescriptions des fabricants,
- si les masses volumiques sont respectées, les machines à souffler ou insuffler doivent être réglées et calibrées pour chaque chantier et contrôlées chaque jour (si le chantier dure plusieurs jours) afin que la densité retenue soit constante.

Afin de préserver de la poussière la ouate de cellulose soufflée dans des combles, la mise en place d'un film anti-poussière peut augmenter la pérennité de l'isolant. Si cette préconisation n'est pas envisagée, un « croûtage » de la surface peut être réalisé par pulvérisation d'un fin brouillard d'eau à la fin de l'opération de soufflage ; cette croûte ainsi formée empêchera la poussière de s'infiltrer dans le matériau et pourra éviter le déplacement de l'isolant en cas d'épisode venteux dans des combles ventilés.

Projection humide :

L'isolation en ouate de cellulose par projection humide n'est pas encore très développée, même si un certain nombre de réalisations permettent un retour sur expériences intéressant.

La projection ne doit pas être mouillée mais humide. Une des bonnes pratiques consiste à régler correctement la machine à projeter afin d'obtenir une humidification idéale à 22 % d'eau. Ce taux d'humidité permet de libérer la lignine, liant naturel contenu dans la ouate de cellulose. Si le taux d'humidité d'application est trop élevé, il y a des risques de fissuration pendant le séchage au droit des parois et ainsi création de micros-ponts thermiques.

22. Le certificat ACERMI de chaque produit présente sa classe de tassement (SH 20 - SH 25) ainsi qu'un tableau de la conductivité thermique tenant compte des tassements avec deux indicateurs : épaisseur minimale à installer et épaisseur utile.

De plus l'application est moins aisée, le produit a tendance à mal s'agglomérer, étant rendu trop lourd. Un trop fort taux d'humidité peut également affecter les ouvrages connexes, support, panneaux des caissons et provoquer des désordres.

Une fois appliquée, la ouate devient monolithique et adhérente aux parois des caissons.

Lorsque le taux d'humidité relative au cœur de l'isolant est inférieur à 22 % les caissons peuvent être refermés. Il convient d'être attentif à cette étape afin de ne pas confiner l'humidité qui pourrait provoquer des désordres, notamment l'apparition de moisissures.

Cette technique d'application nécessite une formation spécifique.

Fiche de chantier

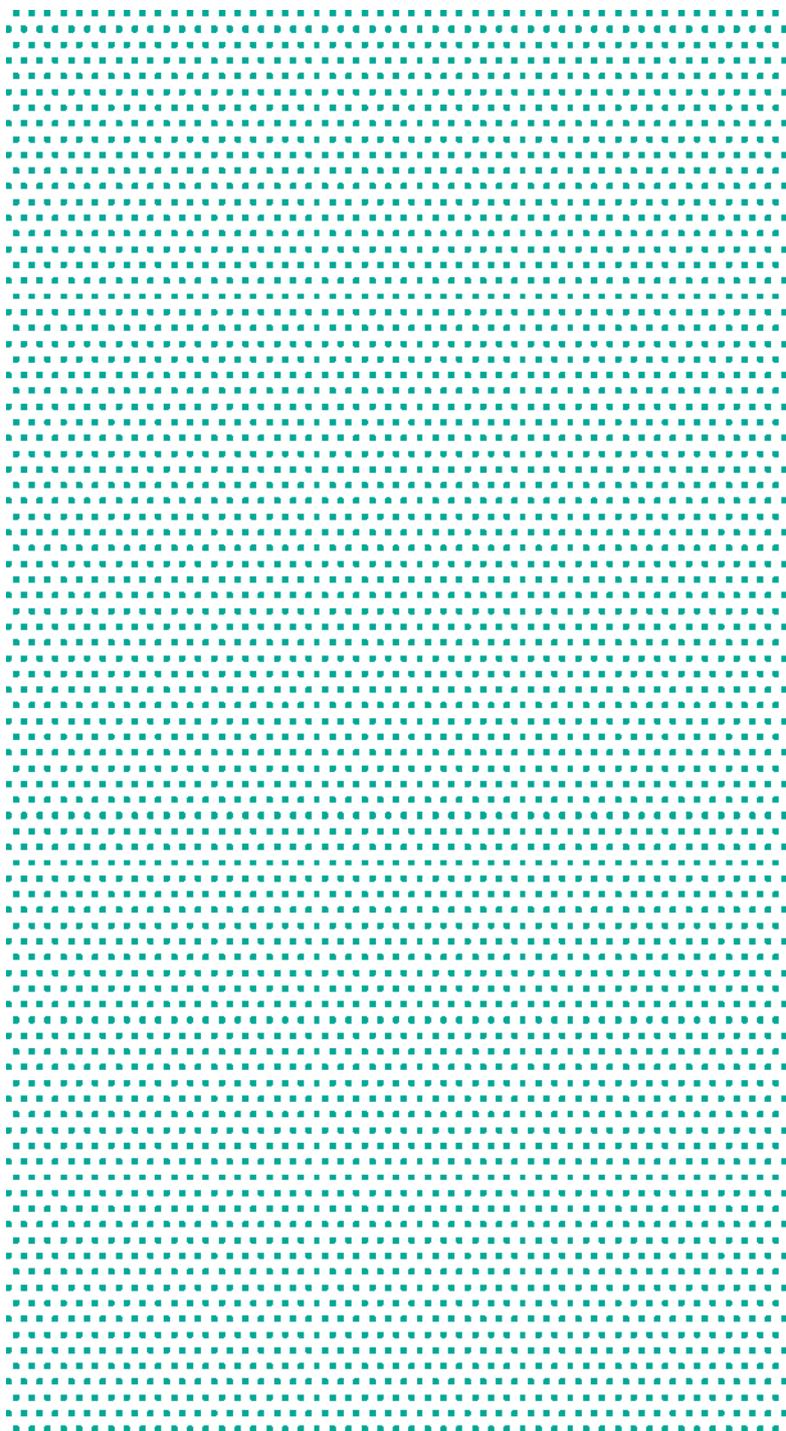
Des fiches de chantier, imposées par l'ATEc et fournies par les fabricants, sont complétées par le poseur et communiquées au maître d'ouvrage. Elles comportent :

- une partie signalétique du produit mis en œuvre,
- un encart réservé à l'applicateur et au site,
- un troisième chapitre décrivant les caractéristiques de l'opération proprement dite,
- un dernier encart rappelle les principes de mise en œuvre relatifs à la sécurité incendie.

Elles peuvent être affichées dans le comble isolé.

Étiquette de tableau électrique et d'entrée de combles

Des étiquettes « avertissement » à coller sur le tableau électrique et à l'entrée des combles isolés sont également imposées par l'ATEc et fournies par les fabricants et cela en vue des interventions ultérieures sur les ouvrages en plafond. Ces étiquettes précisent que l'isolant des combles est un isolant en vrac, qu'il est interdit de placer des sources de chaleur au contact direct de l'isolant et qu'il est obligatoire de couvrir tout luminaire encastré avec un capot spécial.



CONCLUSION

Des quarante entretiens menés auprès de spécialistes de la construction et des matériaux biosourcés (fabricants, fournisseurs, architectes, bureaux d'études, bureau de contrôle, entreprises et artisans, fédérations et syndicats, centres de ressources, formateurs, centre de recherche, assureur,...) il ressort que les désordres et sinistres recensés concernant les matériaux isolants biosourcés (paille, chanvre, fibre de bois et ouate de cellulose) sont dus à des défauts de conception, à de mauvaises prescriptions et/ou à des défauts de mise en œuvre, aucune discussion avec les professionnels ne fait état de désordres dus au matériau en lui-même ; cependant, leur nature putrescible peut les rendre vulnérables face à de mauvaises conditions de gestion de l'eau et de la vapeur d'eau.

Il ressort de cette étude d'une part, que les professionnels spécialisés interrogés, prescripteurs et applicateurs ont en général une bonne connaissance des caractéristiques de ces isolants biosourcés. Ces professionnels connaissent les matériaux, les textes de référence, les techniques et modes de mise en œuvre adaptés.

Cependant, ils ne représentent qu'une infime partie des acteurs qui sont susceptibles de prescrire et mettre en œuvre ces produits, même si certains représentent les filières comme CenC (Construire en Chanvre), le RFCP (Réseau Français de la Construction en Paille), l'ECIMA (European Cellulose Insulation Manufacturers Association) ou l'ASIV (Association Syndicale des Industriels de l'Isolation Végétale).

Il ressort d'autre part, que les personnes interrogées qui ont mené des enquêtes sur le terrain, visité des opérations, analysé les projets et rencontré les protagonistes relèvent un certain nombre de désordres, souvent récurrents dus à une méconnaissance de ces matériaux. Les acteurs de ces réalisations ne sont pas toujours au fait des qualités spécifiques de ces isolants biosourcés et les utilisent comme les produits conventionnels avec lesquels ils ont l'habitude de travailler.

Les prescripteurs préconisent parfois ces produits dans un mauvais contexte, aux mauvais endroits, tandis que les applicateurs non avertis suivent ces prescriptions malheureuses, créant ainsi des sources de désordre.

Les applicateurs sont également susceptibles d'erreur de mise en œuvre, de défaut d'attention et/ou sujets à des contraintes financières, de planning, météorologique,... ouvrant ainsi la porte à de futurs désordres.

Mais l'application des Règles professionnelles, tant pour la paille que pour le chanvre, a marqué un frein notable aux sinistres rencontrés. Tout comme l'édiction de certaines prescriptions dans les Avis Techniques et autres textes de référence pour la ouate de cellulose et la fibre de bois ont mis fin en partie aux incendies de combles.

Il semble donc que la bonne connaissance des matériaux et de leurs produits acquise par la formation obligatoire soit une des pistes de réduction des désordres.

Les matériaux biosourcés et les Règles professionnelles

Deux des matériaux étudiés font l'objet de Règles professionnelles :

- la paille en botte pour l'isolation ;
- le chanvre sous forme de béton de chanvre applicable en sol, mur, toiture, enduit.

Les désordres et sinistres évoqués proviennent d'une méconnaissance ou d'une mauvaise application de ces Règles professionnelles, soit en phase de conception, soit en phase de mise en œuvre, soit lors des deux phases.

Il n'a pas été fait état, au cours de ces différents entretiens, de sinistres intervenus dans le cadre du respect des Règles professionnelles.

La formation fait partie intégrante des Règles professionnelles pour les professionnels de la paille et du béton de chanvre, qu'ils soient architectes, bureaux d'études, entreprises ou artisans, les points particuliers de conception et de mise en œuvre sont connus et pris en compte.

Les matériaux biosourcés et les Avis Techniques

Les deux autres matériaux de l'étude, la fibre de bois et la ouate de cellulose, ainsi que le chanvre sous forme de laine, ne sont pas sujets à des Règles professionnelles, mais bénéficient d'Avis Techniques pour certains produits et certaines techniques de mise en œuvre.

Il ressort des entretiens avec les professionnels de ces filières que les sinistres et désordres constatés sont issus de la méconnaissance des produits et/ou de la mauvaise application des Avis Techniques et des Cahiers de Prescriptions Techniques communes qui s'y rattachent.

Ces produits sous forme de panneaux, de rouleaux ou de vrac sont plus proches, par leur conditionnement et leur mode de mise en œuvre, des matériaux conventionnels que sont les fibres minérales, et ainsi un plus grand nombre d'entreprises est amené à les utiliser sans avoir reçu la formation nécessaire à la bonne connaissance du produit, de ses conditions de prescription et de mise en œuvre.

Les entretiens font souvent état de ce manque de formation des acteurs, la prescription n'est pas toujours faite à bon escient, et les entreprises mettent en œuvre ces produits sans tenir compte de leurs spécificités.

Les matériaux biosourcés face à la sinistralité

Une étude, sans valeur statistique, menée par la MAF, Mutuelle de Architectes Français Assurance, auprès de ses intervenants courant juin 2015, montre que les sinistres recensés liés à des matériaux biosourcés sont au nombre de 12 sur un total de 50 000 sinistres en cours de gestion.

Sur ces 12 sinistres recensés, 11 concernent des produits étudiés : ouate de cellulose, fibre de bois et chanvre sous forme de laine et d'enduit chanvre/chaux. La majeure partie (9 sur 11) des sinistres sont des incendies liés à une mauvaise mise en œuvre du produit, par exemple : exposition de ouate de cellulose à des spots encastrés ou à un conduit de cheminée, exposition de fibre de bois à un chalumeau ou mise en œuvre sous des costières métalliques exposées,...

Un sinistre est dû à un défaut d'étanchéité à l'air de la toiture avec une isolation en ouate de cellulose.

Un sinistre concerne l'apparition de moisissures sur un enduit chaux/chanvre en rénovation de bâti ancien.

Il faut noter que tous les désordres ne sont pas systématiquement déclarés, mais cependant la proportion de 0,00024 % donne une indication intéressante sur la sinistralité en général des produits et matériaux isolants biosourcés.

Les matériaux biosourcés face à la sécurité incendie

Comme on l'a vu à plusieurs reprises, le comportement des matériaux biosourcés face au risque incendie est également lié à la prescription qui en est faite, à la qualité de la mise en œuvre et à l'attention des intervenants sur le chantier.

Il est à noter que les matériaux biosourcés ont en général des capacités thermiques importantes, leur densité est également forte et donc les capacités de combustion sont réduites en raison de l'impossibilité d'apport du comburant. Cependant, ces matériaux isolants stockent la chaleur et un échauffement important peut se produire dans l'épaisseur de l'isolant, retardant d'une part le déclenchement du feu aux ouvrages annexes et permettant l'atteinte du point de combustion déclencheur.

La masse combustible importante que représente l'isolant peut être un facteur aggravant de l'incendie, en contrepartie, le délai de combustion des isolants biosourcés dépasse les temps de stabilité au feu requis pour l'évacuation des locaux.

Pour l'instant, les essais au feu sont encore trop peu nombreux et pas suffisamment ciblés sur les isolants biosourcés pour pouvoir lever les freins qui persistent vis-à-vis de ces produits.

Quelques exemples :

- sur un chantier, un plombier en soudant a mis le feu à de la ouate de cellulose, celle-ci a bien protégé les ossatures bois : isolant dense + adjuvants,
- des pompiers ont souligné que lors d'un incendie, l'isolant en ouate de cellulose avait permis de circonscrire le feu,
- sur un chantier, suite à une soudure réalisée à proximité d'un isolant en fibre de bois celui-ci s'est consumé produisant de la fumée qui a donné l'alerte, le feu ne s'est pas déclenché.

Mais les réticences face au risque incendie des isolants biosourcés commencent à tomber. En effet, les Services de Sécurité Incendie du département 54 ont choisi de construire un centre d'intervention communal en ossature bois isolé en paille et fibre de bois ; les pompiers donnant ainsi l'exemple.

Formation des acteurs

La formation des différents intervenants de l'acte de construire, maîtrise d'œuvre, entreprises, mais aussi maîtrise d'ouvrage, fournisseurs, bureaux d'études, bureaux de contrôle, semble être indispensable pour aborder correctement l'emploi des isolants biosourcés.

Ces formations, fortement incitées voire obligatoires, devraient permettre de faire parfaitement connaître les matériaux, leurs qualités, les différentes techniques de conception et de mise en œuvre, réduisant d'autant les risques de désordres et de sinistres.

Depuis quelques années, la baisse de fréquentation des formations proposées tant par les fabricants que par les organisations professionnelles ou les organismes de formation se fait sentir, il convient donc de relancer à tous les niveaux l'intérêt pour celles-ci : sous forme d'incitation forte, voire d'obligation comme dans le cas de la construction en paille ou en chanvre, sans pour autant ajouter un frein au développement de ces filières.

Développement des plateformes de formation (type Praxibat) est un bon exemple.

ANNEXES

ANNEXE 1

Les sels de bore et les sels d'ammonium

« L'acide borique est une substance reprotoxique avérée, réglementairement très encadrée au niveau communautaire. Son incorporation dans les ouates de cellulose fait l'objet de restrictions prises dans le cadre du règlement REACH et son usage dans ces produits en tant que biocide est interdit. Toutefois, son usage en tant qu'ignifugeant reste autorisé.

En application du principe de précaution, l'État poursuit l'objectif depuis plusieurs années d'inciter les fabricants de ouate de cellulose à aller au-delà de la réglementation et à remplacer ces sels de bore par d'autres substances. Les décisions prises par la CCFAT concourent à cet objectif, tout en accordant un délai raisonnable aux fabricants pour leur permettre de commercialiser des ouates de cellulose sans sels de bore et conservant un niveau équivalent de protection contre le feu et les moisissures.

En réponse à la décision de CCFAT de novembre 2011 d'annoncer qu'elle ne délivrerait plus d'Avis Technique pour les ouates de cellulose contenant des sels de bore au-delà de juin 2012, la première tentative de substitution des sels de bore proposée par les fabricants a été d'incorporer des sels d'ammonium en traitement ignifugeant. Certains fabricants ayant déjà opté auparavant pour cette substitution, cette solution paraissait tout à fait réaliste et envisageable.

Malheureusement, les fabricants ont été confrontés à de nombreux désordres, avec un pic en octobre 2012, causés par ces nouvelles ouates de cellulose et de forts dégagements d'ammoniac se sont produits dans plus d'une centaine d'habitations. Face à cette situation, la CCFAT a décidé de prolonger la possibilité de délivrance d'Avis Technique à des ouates de cellulose à base de sels de bore jusqu'à juin 2015.

Depuis, les fabricants se sont mobilisés et, avec un fort soutien de l'État, ont démarré une action de R&D visant à proposer une nouvelle solution de substitution sans sels de bore et sans dégagement d'ammoniac. Compte tenu des difficultés rencontrées par la filière et pour lui permettre de confirmer les premiers résultats encourageant de ces travaux, la CCFAT a décidé en avril 2015 d'accorder un nouveau délai jusqu'à juin 2017 pour obtenir des Avis techniques sans sels de bore.

En parallèle :

Fin octobre 2012, dès qu'il a été averti de l'occurrence d'un pic de cas de dégagements d'ammoniac, l'État a provoqué un groupe de suivi associant l'État et les organismes publics concernés afin de décider de possibles actions concernant d'une part la commercialisation future des ouates de cellulose à base de sels d'ammonium, et d'autre part, le devenir des ouates de cellulose déjà posées.

L'urgence a consisté à recenser les conséquences sanitaires de ces ouates de cellulose et à quantifier, par des tests en laboratoires et des mesures in situ, les quantités d'ammoniac susceptibles d'être émises par les différentes ouates de cellulose commercialisées. Les mesures réalisées dans des logements ayant fait l'objet de dégagements d'ammoniac montrent que la valeur toxicologique de référence de l'ammoniac pour des effets chroniques est dépassée dans la majorité des logements investigués. Les tests en laboratoire montrent que ces ouates de cellulose ne sont pas stables et présentent effectivement des dégagements d'ammoniac pouvant être très importants.

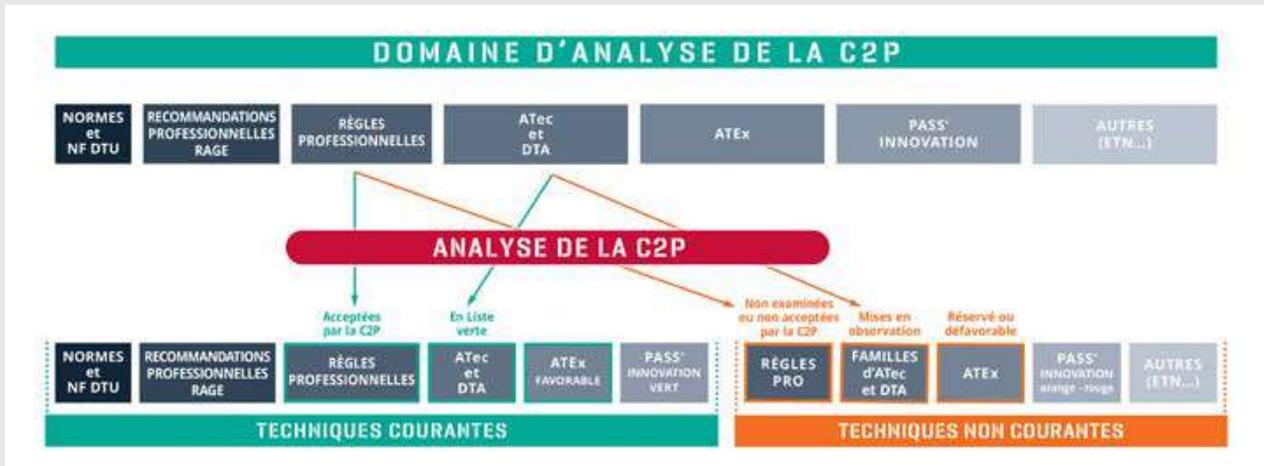
En conséquence, les pouvoirs publics ont décidé d'interdire la commercialisation de ces ouates de cellulose, d'exiger le retrait des produits encore en magasin et le rappel des produits qui n'ont pas été déjà posés. Cette décision est formalisée dans l'arrêté du 21 juin 2013. Néanmoins, la Commission européenne a demandé à la France de mettre en œuvre la clause de sauvegarde prévue par le règlement REACH (article 129). La Commission a validé la mesure prise par la France pour une durée de 21 mois (Décision d'exécution n° 2013/505/UE du 14/10/13), puis pour une durée de 36 mois (Décision d'exécution n° 2015/1131/UE du 10/07/15). La France par l'intermédiaire de l'Anses a remis un dossier conformément à l'annexe XV de REACH à la Commission afin de justifier la mesure prise.

L'Anses a proposé dans son dossier une possibilité d'utilisation restreinte des sels d'ammonium dans ces produits (dégagement d'ammoniac inférieur à 3 ppm) au niveau européen, en lieu et place de l'interdiction absolue aujourd'hui en vigueur en France. Le RAC et le SEAC ont émis un avis favorable. La commission doit ensuite valider cette proposition pour l'ajouter à terme dans l'annexe XVII de Reach.²³ »

23. Service Réglementation technique des produits du bâtiment à la DGALN/DHUP/QC3

ANNEXE 2

Domaine d'analyse de la C2P



ANNEXE 3

Avis techniques

Liste non exhaustive (mars 2016)

1- Avis technique relatif à la paille

- Avis Technique 20/12-274 - ECOVILLA MUR
Titulaire : Société ISOPAILLE SAS
Validité : 31 décembre 2015

Procédé destiné à l'isolation thermique des murs par remplissage d'ossature en bois à l'aide de blocs de paille compressée appelés Bloc ISOPAILLE.

2- Avis techniques et autres certificats relatifs au chanvre

- Avis technique européen : ETA-11/0005 - Biofib'chanvre
Titulaire : Cavac Biomatériaux
Validité : 16 février 2016
- Avis Technique 20/13-302 - Isonat Végétal, Florapan Plus ou Florarol Plus pour application en murs
Titulaire : Société Buitex-Isonat
Validité : 30 septembre 2018
- Avis Technique 20/13-301 - Isonat Végétal, Florapan Plus ou Florarol Plus pour application en toitures
Titulaire : Société Buitex-Isonat
Validité : 30 septembre 2018
- Certificat ACERMI N° 09/116/590 Licence n° 09/116/590 - Florapan Plus - Florarol Plus - Isonat Végétal
Titulaire : Buitex
Validité : 31 décembre 2014
- Cahier de Prescriptions Techniques Communes : Procédés d'isolation à l'aide de produits manufacturés à base de fibres végétales ou animales faisant l'objet d'un AT ou d'un DT - GS 20 le 23/10/12
- ...

3- Avis techniques et autres certificats relatifs à la fibre de bois

- Avis Technique 20/14-328 Sylvactis Isobag, Sylvactis Air, Sylvactis Jet, Sylvactis Wool - Soufflage sur plancher de combles
Titulaire : Acatis S.A.
Validité : 31 juillet 2017
- Certificat ACERMI n° 14/116/906 Licence n° 14/116/906 - Cover 180 - Duoprotect
Titulaire : Buitex
Validité : 31 décembre 2016

- Certificat ACERMI n° 11/116/718 Licence n° 11/116/718 - Bricowood - Isonat Flex 40
Titulaire : Buitex
Validité : 31 décembre 2017
- Certificat ACERMI n° 15/116/984 Licence n° 15/116/984 - Flex 55+Hydro - Flex Optima - Flex 55+H
Titulaire : Buitex
Validité : 31 décembre 2017
- Certificat ACERMI n° 14/116/908 Licence n° 14/116/908 - Multisol 110
Titulaire : Buitex
Validité : 31 décembre 2016
- Certificat ACERMI n° 14/116/904 Licence n° 14/116/904 - Multisol 140 et Cover 140
Titulaire : Buitex
Validité : 31 décembre 2016
- Certificat ACERMI N° 09/090/560 Licence n° 09/090/560 - Diffutherm - Pavatex Diffutherm
Titulaire : Pavatex
Validité : 31 décembre 2017
- Certificat ACERMI N° 11/090/714 Licence n° 11/090/714 - Pavaflex
Titulaire : Pavatex
Validité : 31 décembre 2017
- Certificat ACERMI N° 04/090/370 Licence n° 04/090/370 - Pavatherm
Titulaire : Pavatex
Validité : 31 décembre 2017
- Certificat ACERMI N° 09/090/562 Licence n° 09/090/562 - Pavatherm Plus +
Titulaire : Pavatex
Validité : 31 décembre 2017
- Certificat ACERMI N° 07/090/482 Licence n° 07/090/482 - Isolair 20
Titulaire : Pavatex
Validité : 31 décembre 2017
- ...

4- Avis techniques et autres certificats relatifs à la ouate de cellulose

Extrait de Avis Technique 20/14-316*01 Mod - Modificatif à l'Avis Technique 20/14-316

« Lors de sa réunion, la Commission Chargée de Formuler les Avis Techniques (CCFAT) a décidé la modification d'office de tous les Avis Techniques et Documents Techniques d'Application relatifs à des procédés utilisant des produits à base de bore et en cours de validité au 30/06/2015. Elle remplace la date limite de validité indiquée dans chacun de ces Avis par la date du 30/06/2017 »

Avis techniques valables jusqu'au 15 juin 2015

- Avis technique 20/13-289 (ETA-06/0076) Isocell, Trenchisol, Dobry-Ekovilla, France Cellulose, Insufflation / Projection humide en mur
Titulaire : Isocell France
Validité : 30 juin 2015
- Avis technique 20/13-288 (ETA-06/0076) Isocell, Trenchisol, Dobry-Ekovilla, France Cellulose, Soufflage sur plancher de combles
Titulaire : Isocell France
Validité : 30 juin 2015
- Avis Technique 20/14-312 Édition corrigée du 12 juin 2014 + extension UniverCell - Applications soufflage, projection humide et insufflation
Titulaire : Soprema
Validité : 30 juin 2015
- Avis Technique 20/13-299 Grey Snow - Igloo France – Insufflation / Projection humide en murs
Titulaire : Igloo France Cellulose
Validité : 30 juin 2015
- Avis Technique 20/13-298 Grey Snow - Igloo France - soufflage en plancher de comble
Titulaire : Igloo France Cellulose
Validité : 30 juin 2015
- Avis Technique 20/14-316 Isofloc LF - Applications soufflage, projection humide et insufflation
Titulaire : ISOFLOC
Validité : 30 juin 2015
- Certificat ACERMI n° 12/154/776 Licence n° 12/154/776 - Isofloc LF
Titulaire : ISOFLOC AG
Validité : 31 décembre 2016
- ...

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages généraux

■ *Connaissance de la filière des matériaux biosourcés pour la construction en Pays de la Loire* - DREAL Pays de Loire service intermodalité, aménagement et logement, Collection : Analyses et connaissance - Janvier 2013.

■ *Étude sur le développement des filières biosourcées dans le bâtiment en Limousin* - Nomadéis, DREAL Limousin - janvier 2013.

■ *Étude sur le secteur et les filières de production des matériaux et produits biosourcés utilisés dans la construction (à l'exception du bois)*

Partie 1 : État des lieux économique du secteur et des filières - Nomadéis - août 2012.

Partie 2 : Analyse des dynamiques régionales de soutien au développement des filières - décembre 2012

■ *Les filières franciliennes des matériaux et produits biosourcés pour la construction*, Rapport d'étude - Propositions d'actions - C&B - ARENE IDF, juillet 2013.

■ *Les filières de matériaux biosourcés pour la construction en Bretagne* - État des lieux et mise en perspective - Synthèse d'étude - Cellule économique de Bretagne - mars 2015.

■ *Réhabilitation énergétique et matériaux biosourcés* - état des lieux des connaissances, situation dans le Grand Est - Étude Arcanne pour le compte de EDF - novembre 2014 (Accessibilité : Interne EDF SA - Propriété intellectuelle Copyright EDF SA).

■ *Synthèse du rapport de recherche TERRACREA1 - Matériaux de constructions biosourcés, ressources agricoles et forestières. État des lieux, prospectives et propositions à l'horizon 2030-2050* - Pierre Besse, Luc Floissac, Hans Valkhoff (LRA - Laboratoire de Recherche en Architecture de Toulouse), Sylvain Angerand, Franck Chaumartin (Les Amis de la Terre - France) - septembre 2014.

Ouvrages techniques

■ *Bétons de chanvre: Synthèse des propriétés physiques* - Construire en Chanvre - rédaction Arnaud Evrard mai-novembre 2002 - édition janvier 2003

■ *État des lieux des connaissances actuelles sur le Fonctionnement Hygrothermique des matériaux biosourcés* - C&B, 2012

■ *Matériaux biosourcés et vulnérabilité des bâtiments VEILLE TECHNOLOGIQUE - VT 005-12* - Note d'information du CNPP à la FFSA - Centre National de Prévention et de Protection - 19/09/2013

■ *Rapport d'essai N° 26021044 concernant le comportement au feu d'un élément de façade* - CSTB, octobre 2009

■ *Synthèse des connaissances sur les bétons et mortiers de chanvre* - Laurent ARANUD, Yves HUSTACHE - Construire en chanvre, FRD Lhoist - 2008

Rapports

■ *Développement de la filière Construction Paille/Ossature Bois en PACA* - Le Gabion, Prides Bâtiments Durables Méditerranées et AB&C Filière Bois et construction - Vincent Rigassi - juillet 2012

■ *Rapport - Retour d'expériences (REX) Bâtiments performants et risques* - AQC, octobre 2014.

■ *Rapport d'activité: Durabilité de la construction paille, la preuve par la mesure* - RFCP et Région Rhône-Alpes - septembre 2013

■ *Les retours d'expériences source de progrès - Les matériaux biosourcés: 12 enseignements à connaître* - Energievie - 2015

Articles

■ *La Maison Écologique* - n° 48: Maison en paille, décembre 2008 - n° 49: Le guide des isolants, février 2009 - n° 60: Rénover en isolant par l'extérieur, décembre 2010.

Ouvrages relatifs aux règles de l'art

■ *Construire en chanvre - Règles professionnelles d'exécution* - SEBTP, édition 2012

■ *Règles professionnelles de la construction en paille CP 2012, Remplissage isolant et support d'enduit* - RFCP, Luc FLOIS-SAC - Le Moniteur, 2^e édition, 2014.

■ *Isolation thermique des combles: isolation en laine minérale faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Constat de Traditionalité* - CPT 3560 - CSTB, décembre 2009.

■ *Mise en œuvre des procédés d'isolation thermique rapportée en planchers de greniers et combles perdus* faisant l'objet d'un Avis Technique, Document Technique d'Application ou Constat de Traditionalité - CPT 3647 - CSTB, novembre 2008.

Procédé d'isolation par soufflage d'isolant en vrac faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application - CPT 3693 - CSTB, avril 2011.

Isolation thermique de murs par l'intérieur procédés d'isolation par insufflation d'isolant en vrac faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application - CPT 3723 - CSTB, novembre 2012.

Isolation thermique des murs par l'intérieur : procédés d'isolation à l'aide de produits manufacturés à base de fibres végétales ou animales faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application - CPT 3728 - CSTB, décembre 2012.

Cahier technique n° 4 - Détermination du tassement - ACERMI - mars 2015

Avis techniques et autres textes de référence et réglementaires :

- Avis Technique 20/12-274 - Ecovilla mur.
- Avis Technique 20/13-302 - Isonat Végétal, Florapan Plus ou Florarol Plus pour application en murs.
- Avis Technique 20/13-301 - Isonat Végétal, Florapan Plus ou Florarol Plus pour application en toitures.
- Avis Technique 20/14-328 - Sylvactis Isobag, Sylvactis Air, Sylvactis Jet, Sylvactis Wool - Soufflage
- Avis technique 20/13-289 (ETA-06/0076) Isocell, Trendisol, Dobry-Ekovilla, France Cellulose, Insufflation / Projection humide en mur.
- Avis technique 20/13-288 (ETA-06/0076) Isocell, Trendisol, Dobry-Ekovilla, France Cellulose, Soufflage
- Avis Technique 20/14-312 Édition corrigée du 12 juin 2014 + extension UniverCell - Applications soufflage, projection humide et insufflation.
- Avis Technique 20/13-299 Grey Snow - Igloo France - Insufflation / Projection humide en murs.
- Avis Technique 20/13-298 Grey Snow - Igloo France - soufflage en plancher de comble.
- Avis Technique 20/14-316 Isofloc LF - Applications soufflage, projection humide et insufflation.
- ...

■ Certificats ACERMI, FDS, FDES relatifs aux matériaux étudiés

■ Guides RAGE

■ Avis de l'Anses n° 2014-RE-0001 concernant les sels d'ammonium

■ Décisions de la Commission Européenne

■ Actualité juridique de l'INRS

Documentation technique

■ des différents fabricants de produits : paille - chanvre - fibre de bois - ouate de cellulose

Documents divers

■ *Études bois - Étude de propagation du feu en façade en filière bois* - CSTB et FCBA - mars 2015 (présentation ppt)

■ *Les enseignements du chantier expérimental de Montholier, Jura* - Assises de la construction paille - ARCANNE - Aix-en-Provence - 19 octobre 2007

■ *Présentation Agence Qualité Construction* - ECIMA - 21 mai 2013 (présentation ppt)