CHANVRE

GUIDE DES BONNES PRATIQUES

TOME 2

TECHNOLOGIE DE CHANTIER CHANVRE

Guide de mise en œuvre

PACTE

PROGRAMME D'ACTION POUR LA QUALITÉ DE LA CONSTRUCTION ET LA TRANSITION ENERGÉTIQUE

construire en CHANVRE

Construire en Chanvre est un organisme indépendant créé en 1998 par des professionnels du bâtiment, persuadés de l'avenir du chanvre dans la construction. Ses membres sont issus de toute la filière : chercheurs, fabricants, maîtres d'œuvre, distributeurs, entreprises de mise en œuvre, maîtres d'ouvrage...

Ce livre est le fruit d'un travail collaboratif basé sur les retours d'expériences.
Il est destiné à toute personne cherchant à parfaire ses connaissances sur les bétons et les mortiers de chanvre.

Remerciements :
- Le conseil d'administration de Construire en Chanvre
- L'ensemble des adhérents de Construire en Chanvre
- L'ensemble des membres des commissions pilotées par Construire en Chanvre
- InterChanvre pour son implication dans la conception et la réalisation de cet ouvrage.
- Nathalie Janczak pour la maquette et Jacques Partouche pour les infographies.

Crédits photos :
Benjamin Leroux, Mathieu Boisante, Can Ia, Christophe Lubert, Claude Eichwald, Cyril Vallee, Luc Van Nieuwenhuyze, Vieille Matériaux, Nathalie Fichaux, Parc Naturel Régional du Gatinais Français, InterChanvre et Construire en chanvre.

GUIDE DES BONNES PRATIQUES

TOME 2

TECHNOLOGIE DE CHANTIER CHANVRE

Guide de mise en œuvre

Par Luc Van Nieuwenhuyze et la commission formation
de Construire en Chanvre

SOMMAIRE

PRETACE
INTRODUCTION — 7 - 10

1 - CADRAGE NORMATIF ET PRECONISATIONS TECHNIQUES — 11 - 17

2 - LA FABRICATION DES BETONS ET MORTIERS DE CHANVRE — 18 - 33

3 - REALISER DES OUVRAGES EN CONSTRUCTION NEUVE OU BATIMENTS EXISTANTS — 34 - 75

4 - REHABILITATION DES BATIMENTS ANCIENS

76 - 87

5 - LES MISES EN OEUVRE SECHES

88 - 103

6 - PRESCRIPTIONS GENERALES

104 - 112

Avertissement

Cet ouvrage ne se substitue en aucun cas aux textes de références, qu'ils soient réglementaires (lois, décrets, arrêtés...), normatifs (règles professionnelles en vigueur, normes, DTU ou règles de calcul) ou codificatifs (Avis Techniques, «CPT»...) qui doivent être consultés.

L'association Construire en Chanvre décline toute responsabilité quant aux conséquences directes ou indirectes de toute nature, qui pourraient résulter de toute interprétation erronée du contenu du présent ouvrage.

PREFACE

Le chanvre valorise la Nature pour que l'humanité se nourrisse, se déplace, s'habille, se loge et se soigne localement et sainement. Aucun traitement chimique n'est utilisé, ni aux champs, ni dans le process industriel.

La résistance légendaire de ses fibres a permis à l'homme ses plus grandes avancées, celle de s'habiller d'abord, puis de traverser les océans grâce aux cordages et aux voiles et ainsi de découvrir d'autres mondes.

En 800, Charlemagne classe le chanvre dans les produits de première nécessité au même titre que le pain.

Au XII^{e} siècle, le papier à base de chanvre fut choisi pour sa solidité et sa technicité. Plus tard, il permet de réaliser les billets de banque et contribue directement à la sauvegarde du patrimoine culturel mondial.

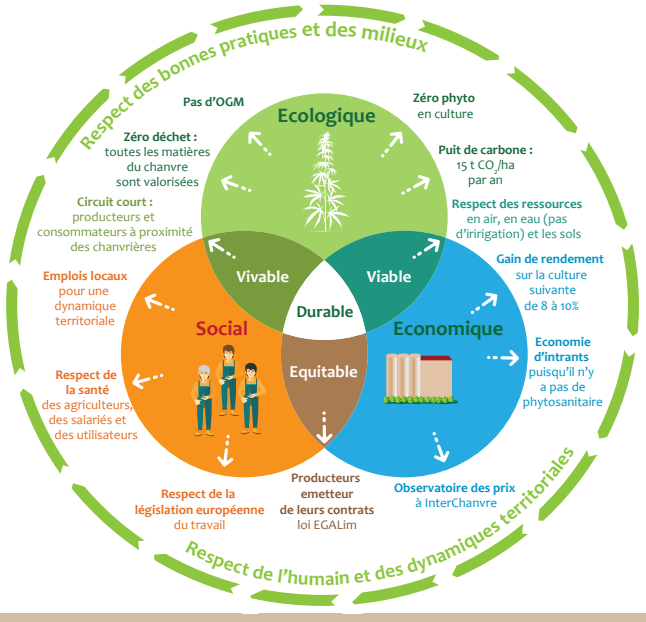
Il fut par exemple le support de la déclaration d'indépendance des USA, et de la constitution américaine, mais aussi des livres anciens qui ont traversé les siècles.

Cette plante fut la plus cultivée au monde à la fin du XIX^{e} siècle. Un déclin progressif s'ensuit avec le dépôt du brevet du nylon et le développement du coton aux USA ainsi que l'apparition de la «marijuana tax act» à la naissance de l'industrialisation de la récolte.

En décembre 2018, les Etats Unis considèrent le chanvre comme une plante «normale» lors du Farm bill. la géopolitique mondiale du chanvre en est complètement chamboulée. Les start ups développent en tous sens avec plus ou moins de succès.

Heureusement, la France qui est le seul pays d'Europe a toujours avoir produit et développer les marchés du chanvre, investis en R&D et en outils industriels.
Les marchés alimentaires, automobiles, d'isolants, de paillage horticole, de litière animale, de papiers spéciaux ou de textile se développent au bénéfice du consommateur et de l'environnement. Toutes ses qualités environnementales sont décuplées dans la construction.

Alors que dès le 7^{e} mois de l'année, les ressources de notre planète sont déjà consommées, les solutions existent pour construire avec la Nature. Voici les trois piliers du Développement Durable du chanvre.



Le cercle vertueux de la construction en chanvre

Culture du Chanvre

- **La France leader européen** de la production = 40 000 t de chènevotte par an
- **Sans traitement chimique**, sans irrigation, sans OGM
- 1 ha de chanvre absorbe 15 t de CO_2 = 1ha de forêt
- Culture annuelle = ressource **renouvelable** et adaptable aux besoins

Transformation du Chanvre

- **Transformation 100% mécanique**
- Usine à proximité des producteurs
- Label chènevotte bâtiment et validation liant/granulat pour sécuriser le mode constructif

Achat et conception des bâtiments

- En logements sociaux **au prix du marché1400€/m²**
- En préfabrication sur bâtiment tertiaire 2,6% d'écart avec une construction classique avec une économie d'énergie et d'entretien significative

Construction des bâtiments

- Règles professionnelles pour l'assurabilité
- En béton ou en laine, le chanvre est source de performances
- Grande modularité du champ des possibles
- Complémentarité avec la filière bois
- Facilité de mise en œuvre

Confort de vie des bâtiments

- **Performances thermiques, acoustiques et hygrothermiques inégalées**
- Economies d'énergie importantes

Fin de vie des matériaux

- Les bâtiments préfabriqués peuvent être déconstruits, déplacés et reconstruits facilement
- Filière en circuit court et locale
- Possibilité de recycler ou composter les murs en chaux/chanvre

Luc VAN NIEUWENHUYZE
Formation, expertise, conseil

« Cet ouvrage a pour objectif d'être le plus pratique et illustratif possible de la mise en œuvre des bétons et mortiers de chanvre dans la construction. Chaque application est traitée avec le plus grand soin par les experts très aguerris de la mise en œuvre qu'ils soient formateurs, artisans, bureaux d'études ou architectes.

Il fait partie de la collection d'ouvrages de référence développés par Construire en Chanvre pour démultiplier les savoirs-faire des adhérents. »

Ce Tome 2 n'aurait pu exister sans le soutient financier de Pacte, le soutient logistique de Construire en Chanvre et la coordination de Luc Van Nieuwenhuyze. Assisté par InterChanvre sur la réalisation de ce Tome, comme les autres de la collection.

INTRODUCTION

Cet ouvrage est destiné à tous les professionnels du bâtiment qui souhaitent mettre en œuvre du béton de chanvre.

Les bétons de chanvre sont des bétons atypiques. Leur développement s'est appuyé sur la validité d'un mélange liant et granulat (notion de couple validé), dont le dosage en liant pouvait varier en fonction des performances visées.
Très peu dosé, le béton sera relativement isolant mais avec une résistance mécanique négligeable. En augmentant le dosage en liant, les résistances mécaniques augmenteront avec une baisse corollaire de la résistance thermique.

Des plages d'utilisation selon les propriétés des matériaux durcis ont été défini :

● **Toit** : le dosage en liant est assez faible, il permet une agglomération du granulat, son maintien en place sous la forme d'un bloc de matériau. Le liant a de plus une fonction protectrice du granulat : fongicide, insecticide et protection contre les rongeurs. Le béton doit être contenu : réalisation sur un plancher ou dans des caissons sous toiture.

● **Mur** : le dosage en liant, plus élevé permet d'atteindre des résistances mécaniques, garantissant qu'un panneau d'une hauteur d'un étage courant soit autoportant.

● **Sol** : le dosage en liant permet de garantir la portance nécessaire à un usage d'habitat, avec un recouvrement, car le béton, s'il résiste à des charges réparties, ne résisterait pas à des poinçonnements ponctuels et à l'usure provoquée par de fréquents passages.

Le granulat chanvre, granulat de petite taille permet de réaliser des mortiers pouvant être appliqués sur une paroi avec les gestes techniques courant du maçon enduiseur. Un usage s'est développé pour des enduits, tout aussi atypiques.

● **Enduit** : le granulat chanvre très léger a tendance à rebondir lorsqu'on le projette. Le dosage en liant est plus élevé pour permettre d'obtenir une masse suffisante, de procurer une adhérence entre le mortier et la paroi. Il permet aussi d'apporter la plasticité nécessaire à la mise en place de la matière projetée. Les enduits de granulat de chanvre améliorent les résistances thermiques d'une paroi. Ils ne peuvent être considérés comme « isolant ». Ils ont une excellente capacité à réguler les flux hydriques d'une paroi intérieure ce qui a favorisé leur utilisation dans l'habitat construit avec des techniques traditionnelles.

« Destiné aux professionnels qui veulent mettre en œuvre du chanvre »

1 - LES CADRAS NORMATIFS

Les matériaux mis en œuvre dans les cadres des règles professionnelles — 12 - 13

- Le granulat de chanvre
- Les couples liant/granulats validés, entraînant respect de prescriptions de dosage
- L'eau
- Le respect des préconisations des règles professionnelles
- Formation et savoir-faire acquis

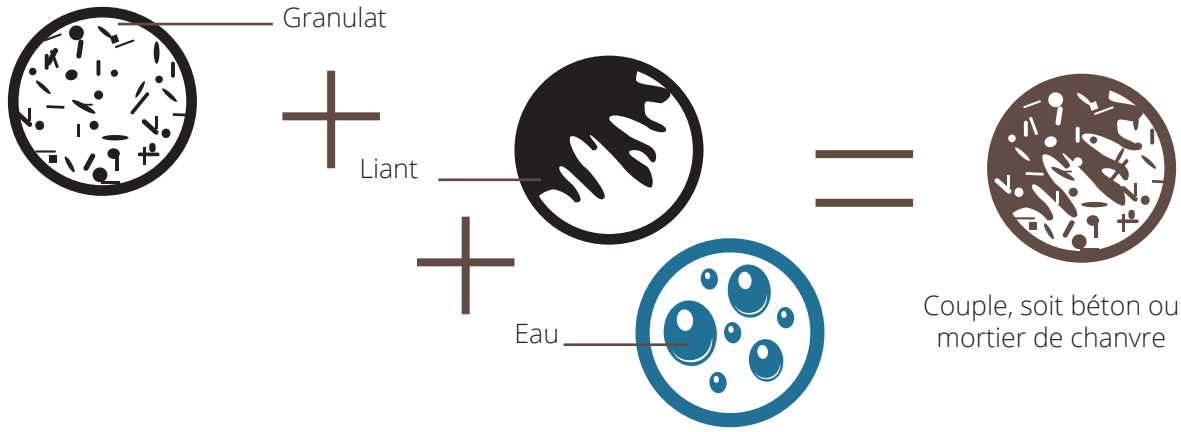
Construire dans les règles avec le chanvre — 14 - 17

- Vers une réglementation environnementale : FDES et performances thermiques
- Les règles régissant les ossatures
- L'étanchéité à l'air, la tenue au feu et la stabilité sismique

Les cadres normatifs

Les acteurs de la filière chanvre ont travaillé pour valider les retours d'expérience et sécuriser la construction chanvre depuis les années 2000. Les règles professionnelles de la construction en chanvre, valables pour les quatre usages décrit ci-avant, ont été validées par la Commission Convention Produit, avec retour d'expérience en 2007. Une nouvelle version a été validée en 2012. La version 2020 (en cours de validation à ce jour) est une refonte, selon les critères normatifs en vigueur, des quatre fascicules précédents en un document unique.
Durant leur période de validité, les règles professionnelles inscrites sur la liste verte des règles validées par la C2P amènent à considérer la technique dont elles font l'objet, comme technique courante dans le respect d'éventuelles spécifications de la C2P.

Les matériaux mis en œuvre
Dans le cadre des règles professionnelles



Le granulat chanvre
Le label Granulat Chanvre Bâtiment garanti son aptitude à l'usage.

Les couples liant/granulats validés, entraînant respect de prescriptions de dosage
Des tests sur les mélanges durcis (résistance mécanique, module d'élasticité), effectués par des laboratoires externes et indépendants garantissent des performances minimales en fonctions des usages visés.

L'eau
L'eau est indispensable au durcissement des liants quelque soient leur nature : chaux, ciment, plâtre. La qualité de l'eau, la présence d'éléments organiques ou minéraux en proportions non négligeables perturberont la prise des liants, pourront affaiblir les résistances. La

norme NF EN 1008 décrit les caractéristiques des eaux utilisables pour le gâchage des bétons et précisent les valeurs seuils pour différents éléments chimiques. L'eau potable est appropriée et ne nécessite aucun essai. Des eaux d'origine souterraine, des eaux naturelles de surface et d'autres eaux peuvent être appropriées, mais doivent être soumises à des essais. Les eaux usées ne conviennent pas .

L'eau employée pour le gâchage des bétons et mortiers de chanvre doit correspondre aux exigences de la norme NF EN 1008.

Le respect des préconisations des règles professionnelles

Les règles professionnelles issues aujourd'hui de 20 ans de pratique, d'études, de retours d'expérience décrivent les procédés, modes et conditions de mise en œuvre selon les usages. Les bétons de chanvre n'étant pas structuraux les modes de relation à la structure sont décrits. Les types de recouvrements, revêtements et finitions (adéquats – permis) sont décrits.

Toutes ces préconisations constituent le cadre de la technique, nécessaire et incontournable, pour la pérennité des ouvrages et leur prise en compte dans le cadre assurantiel.

Formation et savoir-faire acquis

Tout entrepreneur doit, s'il désire mettre en œuvre du béton ou mortier de chanvre, apporter la preuve de l'existence du savoir-faire et de la maitrise du produit au sein de son entreprise. Les personnes et les entreprises qui prescrivent ou mettent en œuvre conformément au référentiel. Tout entrepreneur doit, s'il désire mettre en œuvre du béton ou mortier de chanvre, apporter la preuve de l'existence du savoir-faire et de la maîtrise du produit au sein de son entreprise. Les personnes et les entreprises qui prescrivent ou mettent en œuvre conformément au référentiel ***« Règles professionnelles d'exécution d'ouvrages en bétons et mortiers de chanvre »*** doivent obligatoirement :

- Suivre avec succès une formation dispensée par un formateur agréé par Construire en Chanvre et habilité à lui fournir une attestation de stage numérotée.
- Ou faire valider leurs acquis et expériences (VAE) dans le cadre de ce référentiel par Construire en Chanvre.

La liste des formateurs agréés et la procédure d'agrément des formateurs est disponible sur le site internet de l'association Construire en Chanvre.

Béton de chanvre mis en œuvre en toiture

Essai à la compression / béton de chanvre

Vers une réglementation environnementale : FDES et performances thermiques

La loi ELAN « *Evolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique* », du 23 novembre 2018, a prévu une nouvelle réglementation environnementale des bâtiments neufs qui entrera en vigueur à l'été 2021 et remplacera la RT 2012. Son enjeu majeur est de diminuer l'impact carbone des bâtiments, de poursuivre l'amélioration de leur performance thermique, tout en garantissant la fraicheur pendant les périodes caniculaires. L'ensemble des émissions d'un bâtiment sur son cycle de vie, incluant sa construction, sera pris en compte. Les exigences de performance énergétique seront renforcées, notamment le Bbio (Besoin bioclimatique), et un objectif de confort d'été sera fixé. Tous les produits et matériaux mis en œuvre devront communiquer leurs données d'impact au travers de Fiches de Données Environnementales et Sanitaires (FDES), référencées sur une base unique : **l'INIES - https://www.inies.fr/**

Après une phase d'expérimentation de la démarche : labellisation E+/C-, une concertation a lieu actuellement, couplée à une phase de simulation, en vue de l'application très prochaine de la réglementation.
La construction en chanvre se prépare activement pour intégrer et devancer les futures exigences.

● Une analyse de cycle de vie (ACV) a été réalisée dès 2006 pour un mur en béton de chanvre banché sur ossature bois, par le ministère de l'Agriculture.

● Une FDES collective a été établie par Construire en Chanvre pour l'usage mur. Le béton de chanvre peut être intégré par tout bureau d'études dans les constructions à venir. Les autres usages feront aussi l'objet de FDES. Cependant le stockage temporaire du carbone n'est pas pris en compte par la méthode actuelle de rédaction des FDES. Construire en Chanvre, au sein du Collectif des filières biosourcées du bâtiment CF2B, appuyé par d'autres structures fait pression auprès des Pouvoirs Publics pour une prise en compte réelle des apports et impacts des matériaux biosourcés.

● La performance thermique dans la RT 2012 prend principalement en compte la résistance thermique des matériaux composants une paroi, dépendante du lambda (λ de chaque matériau. Mais, l'équation R= e/λ ne représente pas pour le chanvre, les flux réels de chaleur : la performance est meilleure, due en partie à l'inertie du matériau et aux phénomènes de condensation et évaporation, particuliers (variation de la MBV-Masse brute vérifiée avec des variations de taux d'humidité). Ces phénomènes

correspondent pourtant à une réalité physique mesurable. La RT a prévu un dispositif pour les produits innovants avec le « titre V » qui permet de corriger les calculs quand la méthode Th-BCE 2012 n'est pas adaptée. Une demande déposée par Construire en Chanvre est en cours d'instruction et devrait permettre de mieux valoriser les performances des bétons de chanvre.

Les règles régissant les ossatures

Les bétons de chanvre doivent toujours être associés à une ossature. La complémentarité avec les ossatures bois reste le modèle dominant. Le développement de système constructifs à partir de matériaux biosourcés trouve là encore toute sa pertinence.
D'autres systèmes constructifs ont été mis en œuvre et pourraient l'être : ossature béton, ossature métallique, ou tout autre système d'ossature.
Tous ces ouvrages associés au béton de chanvre doivent répondre à leurs propres règles de calculs et dimensionnement (Eurocodes) et à leurs propres règles d'exécution (DTU – règles professionnelles), notamment le NF DTU 31.2 Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois.
Grâce au retour d'expériences acquis, les règles professionnelles décrivent, pour les parois verticales, les relations entre ossature bois et béton de chanvre. En cas de remplissage entre ossature d'autres natures, des précautions élémentaires seront prises : liaison à la structure, protection des métaux, conditions de séchage, protection contre les ruissellements. Formant le réseau de professionnels et de compétences, Construire en Chanvre pourra vous renvoyer vers la ressource la plus à même de répondre aux interrogations.

Réhabilitation d'un bâtiment en colombage en Alsace.

L'étanchéité à l'air, la tenue au feu et la stabilité sismique

● Étanchéité à l'air

Construire en chanvre en respectant les exigences d'étanchéité à l'air est tout à fait possible. En raison de sa configuration et de son potentiel de retrait, le béton de chanvre ne pourra assurer ce rôle. L'étanchéité à l'air d'une construction intégrant du béton de chanvre sera assurée soit par des enduits, soit par une membrane posée avant le revêtement de finition, soit par des panneaux avec traitements de joints. La plupart des opérations ont été traitées avec une étanchéité à l'air à l'intérieur de l'enveloppe, et quelques unes le sont par un traitement de l'étanchéité à l'air à l'extérieur de l'enveloppe.

LE BON RÉSULTAT TIENT EN QUELQUES POINTS INCONTOURNABLES : |

☑ respect des prescriptions des règles professionnelles pour le positionnement et l'enrobage des ossatures,

☑ pose de bandes raccords autour des cadres de baies, des jonctions avec les autres surfaces, par anticipation, dans tous les cas de mise en œuvre d'enduit,

☑ traitement soigné des jonctions entre les différentes parois.

● Réaction au feu

La chènevotte brûle et dégage des fumées. Il n'en va pas de même pour les bétons et mortiers de chanvre. Après avoir fait sa prise, le liant constitue une coque minérale modifiant son comportement au feu pour rendre le matériau difficilement inflammable avec un classement B-S1,d0 pour une application murs et toitures (contribution au « flash over » très limitée ou difficilement inflammable, faible dégagement de fumées, aucun débris) et un classement A2-S1,d0 pour les enduits (non combustible).

● Résistance au feu

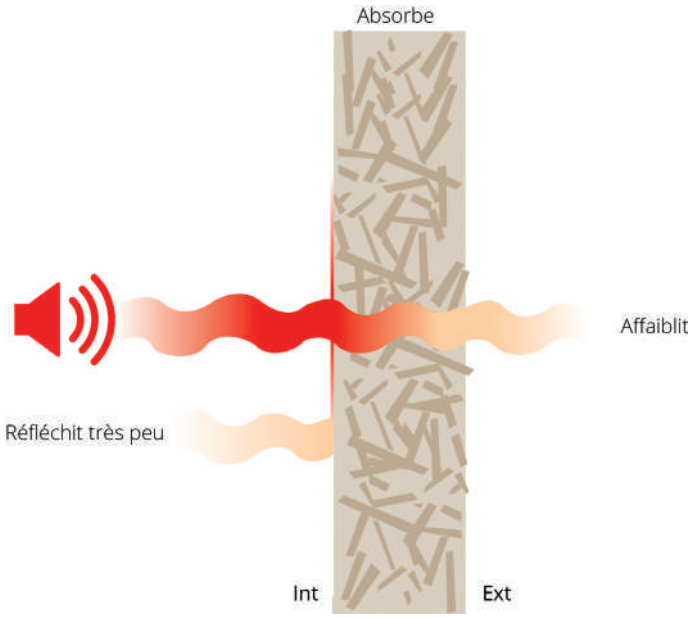
Des tests ont été effectués en 2019 pour connaitre la résistance au feu des murs réalisés en bétons de feu chanvre. Les tests démontrent une résistance de plus de deux heures en matière d'étanchéité aux gaz et aux flammes, et d'isolation thermique (classement EI 240). Les bétons de chanvre n'étant pas structurels, la stabilité mécanique n'est pas mesurée ou prise en compte. Le béton de chanvre apporte une protection contre le feu aux bois de l'ossature à condition que celle-ci ne soit pas placée du côté de la source de chaleur.

Béton de chanvre soumis au feu

● **Stabilité sismique**

Le béton de chanvre étant un matériau de remplissage, une ossature jouera toujours le rôle structurel. Sa conception devra respecter l'Eurocode 8 ou les règles forfaitaires simplifiées, selon la nature du bâtiment. Le béton de chanvre n'est donc pas pris en compte dans le calcul, mais sa résistance mécanique et son élasticité élevée* viendront accompagner la structure et ne provoqueront aucun dégât supplémentaire.

**Les tests de validations des couples liants/chanvre imposent une mesure du module d'élasticité avec des valeurs minimales relativement importantes, en comparaison d'autres matériaux.*



● **Isolement acoustique**

Les arrêtés du 30 juin 1999 et du 25 avril 2003 fixent les caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitations et de limitation de bruit dans les établissements scolaires, les établissements de santé et les hôtels. Ils sont complétés par d'autres textes définissants les méthodes de mesures, le bruit produit par les équipements et l'accessibilité aux personnes âgées.

Le béton de chanvre est considéré comme un bon isolant acoustique car il est capable d'absorber les sons et de les affaiblir. Les valeurs d'affaiblissement d'une paroi en béton de chanvre dépendent directement des finitions appliquées sur les surfaces. Des études réalisées par des fabricants de liant montrent que les valeurs réglementaires sont atteintes dans différents cas de figures, en prenant en compte l'épaisseur de la paroi et les différents recouvrements. Pour obtenir les données des performances, les procès-verbaux d'essais sont à demander aux fabricants.

CONSTRUIRE EN BÉTON DE CHANVRE, C'EST :

● respecter tous les cadres réglementaires actuels

● anticiper la réglementation de demain : ressource renouvelable, performance énergétique, stockage carbone

Les respects des règles professionnelles et les préconisations de ce guide permettent de viser et de réaliser un haut niveau de qualité technique et environnementale.

2 - LA FABRICATION DES BETONS ET MORTIERS DE CHANVRE

La fabrication des bétons et mortiers de chanvre — 20

Avec des malaxeurs et bétonnières pour béton et mortier appliqués manuellement — 21 - 26
- Les bétonnières
- Les malaxeurs à axe vertical - malaxeurs planétaires
- Les malaxeurs à axe horizontal

Avec des moyens de projection mécanisée — 27 - 29
- Machine combinant en bout de lance le mélange de liant et d'eau (barbotine)
- Guniteuse à chanvre

Les contrôles de la qualité du béton et du mortier : autocontrôles — 30 - 32
- La qualité des matières
- Le respect des dosages

Processus de fabrication — 33

Rémy CHORDA
Président de l'École Nationale du Chanvre

Pour bien construire avec du chanvre, il est nécessaire de respecter les dosages et les instructions fournis par les fabricants de liant et de suivre les indications d'utilisation des machines. Respecter les dosages chanvre / liant / eau des couples validés est primordial pour garantir un bon résultat. Ne perdons pas de vue que c'est avec les dosages préconisés par les fabricants que les couples sont validés et assurés. Un mélange réussi, dépend aussi de l'ordre d'introduction des matériaux dans la bétonnière ou le malaxeur. Les réglages des machines doivent être contrôlés pour s'assurer de bien respecter les procédures prescrites.
Et si possible, faites un contrôle continu des quantités de chaux et de chanvre. Par exemple, pour un dosage deux pour un, en plaçant deux sacs de chaux vides dans un sac de granulat chanvre vide. On obtient la qualité qu'avec de la rigueur !

La fabrication
des bétons et mortiers de chanvre

Le granulat de chanvre est un granulat particulier. Deux de ses caractéristiques amènent à observer des prescriptions spécifiques pour l'élaboration des mélanges :

● Les granulats chanvre et les liants ont des densités totalement différentes (0,11 pour le chanvre et de 0,8 à 1,4 pour les liants). Le mélange de produits de densités différentes peut aboutir à une ségrégation permanente des éléments malgré un brassage constant. La bétonnière prévue pour mélanger des grains de tailles différentes, mais de densités proches, n'est peut-être pas l'outil le plus adapté.

● Le granulat a des formes parallélépipédiques : les grains sont de formes allongées présentant des angles saillants. A l'inverse des grains ronds, la fluidité d'un ensemble de grains est relativement faible. Les interactions, entre eau et granulat, lors du mouillage, diminuent encore cette faible fluidité. Selon la quantité d'eau incorporée, les outils pour mélanger seront plus ou moins adaptés.

De plus, le granulat de chanvre absorbe rapidement l'eau de gâchage pouvant entraîner des manques ponctuels d'eau pendant les phases de mélanges. L'ordre d'introduction des différents constituants devient une donnée importante pour l'obtention d'un mélange homogène.
Les mortiers et bétons de chanvre pouvant être mis en œuvre, dans le cadre des règles professionnelles, ont été testés avec des dosages établis par les producteurs, le dosage en eau étant une variante importante. Les résultats des tests ne sont valables que pour ces dosages. Un mélange dont les proportions des composants auraient varié, ne correspondrait plus aux caractéristiques certifiées par les tests. La prescription de dosage doit toujours être respectée, quel que soit le mode de fabrication des mortiers ou des bétons. On admettra cependant des légères variations (moins de 5% pour les quantités de chanvre ou d'eau) dues aux variations de poids des sacs ou demi-sacs et à la mesure des quantités d'eau, souvent imprécise en condition de chantier. Il n'en va pas de même pour le dosage de liant qui est aisément respecté avec les indications de dosage en nombre de sacs.

Granulat chanvre bâtiment

Avec des malaxeurs et bétonnières pour bétons et mortier appliqués manuellement

Pour mélanger les bétons et mortiers de chanvre, il existe trois types de matériel préparant uniquement les mélanges, chacun avec leurs particularités et leurs intérêts. Le choix du matériel dépend principalement des orientations et des moyens que l'entreprise souhaite accorder à son activité chanvre.

Les bétonnières

Les bétonnières se prêtent à la fabrication des mortiers et bétons de chanvre en usant moyennant cependant quelques précautions.

La bétonnière doit avoir une bonne **capacité**. Sachant qu'elle ne se remplit qu'à environ 30 % du volume de la cuve, une bétonnière de 320 l ne permettra de gâcher que 100 l de béton ou mortier. Ce volume est à retenir comme volume minimal pour pouvoir envisager la réalisation d'ouvrages qui demandent souvent des cubages importants.

La **vitesse de rotation** est un critère important. Pour les bétons gâchés humides mais non pâteux, une vitesse de rotation élevée provoquera une agglomération sous forme de boulettes (agglomération de particules de chanvre autour d'un amas de liant pâteux). Le mélange ne sera pas homogène : du liant sera en forte proportion à l'intérieur des boulettes et le reste du mélange sera beaucoup plus maigre. Il est pratiquement impossible, une fois que les boulettes sont constituées, de rétablir une homogénéité du mélange : la « gâchée » sera perdue. Les bétonnières à moteur thermique ont une vitesse de rotation qui peut être réglée (à l'inverse de la majorité des bétonnières électriques où la vitesse de rotation est fixe). Pour la réalisation de bétons, la vitesse de rotation sera réglée au plus bas, à la limite du calage du moteur.

La réalisation de mortiers pour l'usage « enduit » ne pose pas ces problématiques. A la seule condition d'incorporer le granulat régulièrement et progressivement, la réalisation de mélanges de ce type (avec suffisamment d'eau pour avoir un mortier très plastique) se passe très bien. La bétonnière est sans doute l'outil le plus adapté pour cet usage.

Béton de chanvre

Astuce : faire des allers-retours rapides entre position verticale et horizontale de la cuve.

Ordre d'introduction des composants du mélange

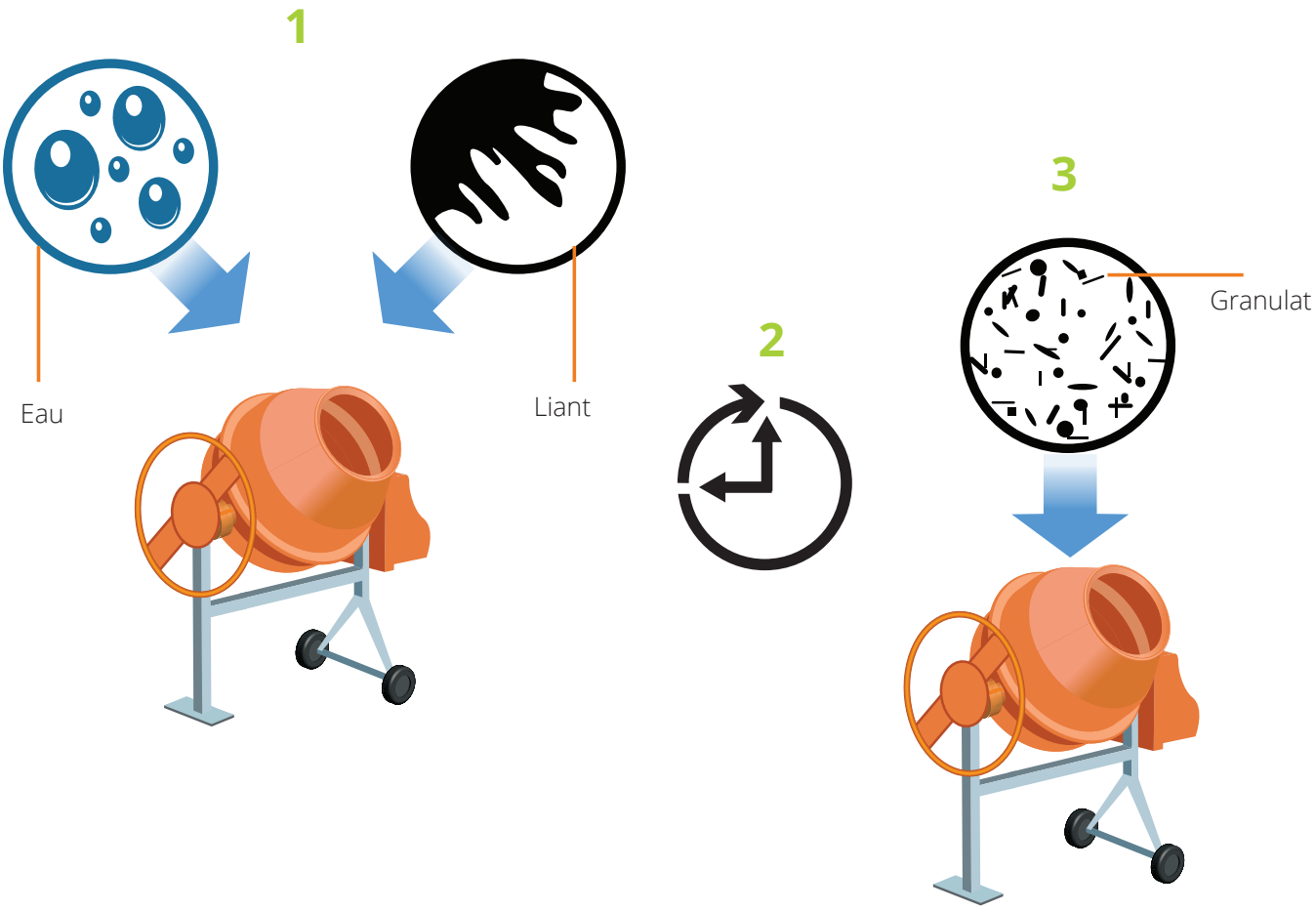
- La quantité d'eau prescrite avec le couple validé est introduite dans la bétonnière (un demi-seau peut être gardé en réserve pour un ajustement en fin de malaxage).

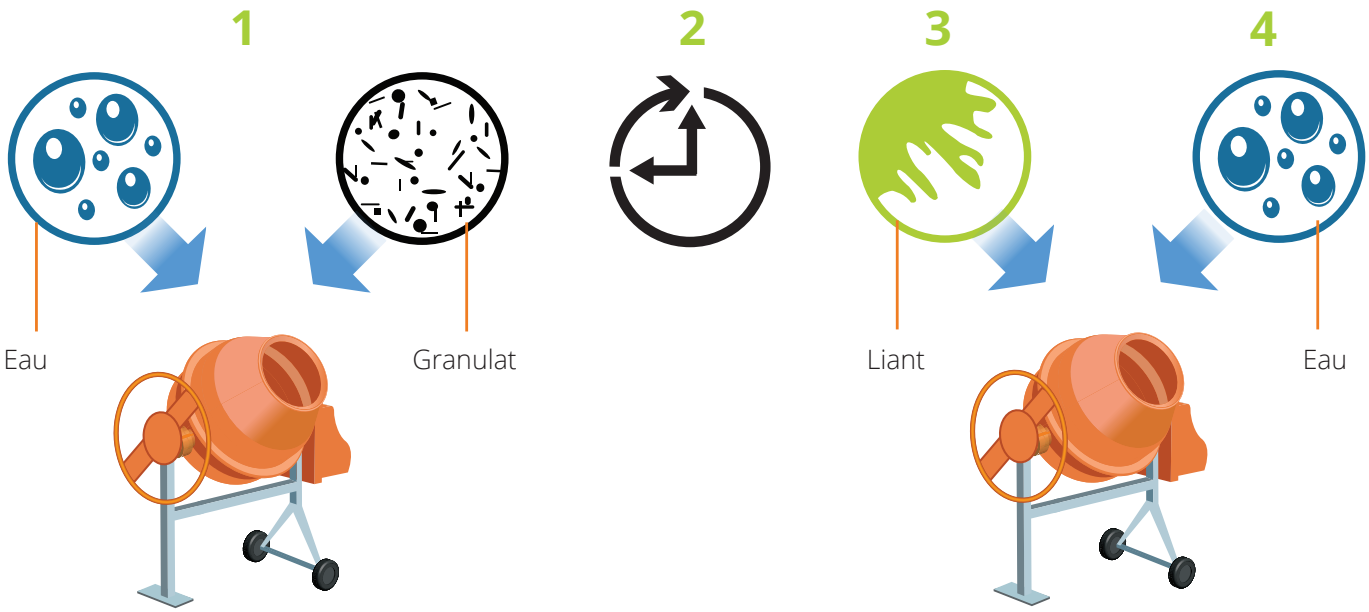
- Le liant est incorporé en totalité, puis la bétonnière tourne jusqu'à ce que la barbotine ainsi constituée soit homogène. La vitesse de rotation peut être élevée.

- Le granulat est incorporé en dernier après avoir été au préalable décompacté. Il sera introduit rapidement dans la bétonnière qui aura une vitesse de rotation faible.

Pour les bétons, dès que le mélange est homogène, la cuve de la bétonnière sera redressée à la verticale et uniquement inclinée pour le vidage. Plus le mélange tourne, plus les particules peuvent s'agglomérer en boulettes. Le mélange se fait très rapidement et doit cesser dès que la répartition est réalisée.

Pour les mortiers, les habitudes des maçons peuvent être conservées : le malaxage ressemble à celui d'autres mortiers. Cependant, il est inutile, voire contreproductif de laisser tourner la bétonnière quand le mélange a atteint la bonne plasticité.





Ordre d'introduction spécifique au ciment prompt naturel utilisé pour les bétons de chanvre

Avec l'utilisation de ce liant, une autre méthode doit être adaptée. Elle est décrite par le fabricant et doit être strictement respectée.

- Dans la bétonnière, inclinée presque à l'horizontal, ¾ du volume d'eau prescrit est introduit.

- Le granulat de chanvre décompacté est introduit dans la bétonnière, à vitesse réduite. Un premier malaxage, cessant quand le mouillage est homogène, est effectué.

- Le liant est introduit, ainsi que l'adjuvant ralentisseur de prise si besoin.

- Démarre ensuite un second malaxage, très court qui doit s'arrêter dès que le mélange est homogène. Le béton est sorti rapidement de la bétonnière pour être mise en place.

POINT DE VIGILANCE |
Un mortier qui tourne trop, se met à taper et à mousser. Son onctuosité diminue et il « retombe » quand il est au repos dans la bétonnière. Ne laissez pas tourner le mortier dans la bétonnière ! Il vaut mieux arrêter et redémarrer !

Les malaxeurs à axe vertical - malaxeurs planétaires

Ce type de malaxeur est constitué d'une cuve cylindrique dans laquelle tourne un axe central, vertical, sur lequel sont fixés des pales raclant les parois verticales et divers outils retournant ou mélangeant la matière. Sont disponibles des malaxeurs de quantité réduites (180 l) et toute une gamme allant vers de grosses quantités (supérieures à 3 m^3 pour des installations fixes).

Une cuve de 450 l est nécessaire pour pouvoir mélanger le volume d'un sac en entier. Le déversement se fait toujours par une trappe en fond de cuve, ce qui nécessite une position en hauteur de celle-ci.

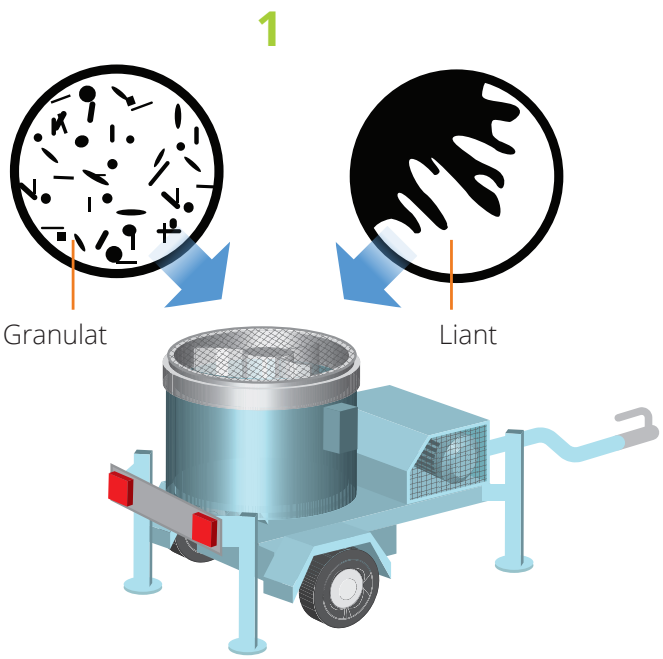
La gamme disponible sur le marché comprend de nombreux modèles permettant un large panel d'utilisation :

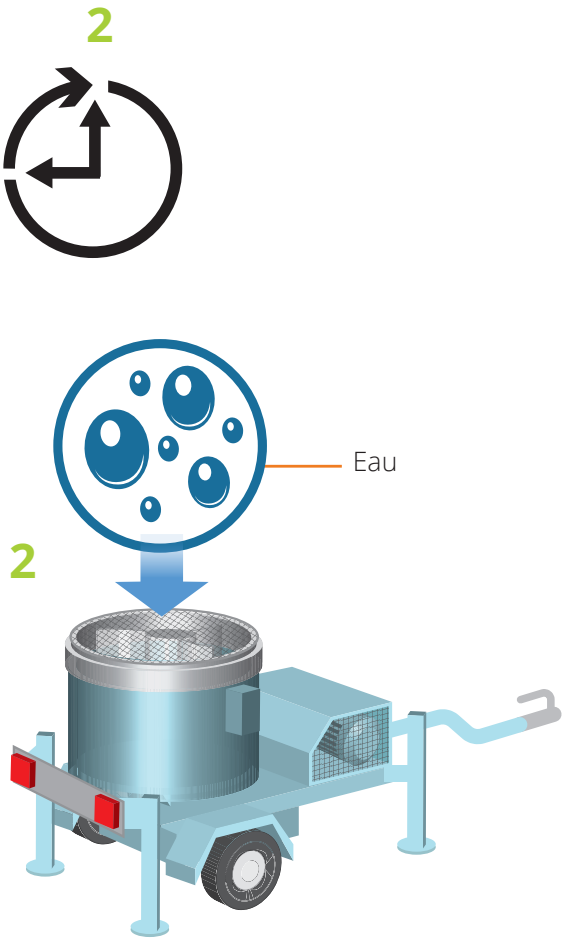
- motorisations électriques, thermiques, hydrauliques et transmissions par cardan,
- montés en hauteur sur roulettes pour les plus petits, montés sur châssis pouvant être tractés, repris par des fourches ou attelés trois points.

Ce type de malaxeur est parfaitement adapté aux mélanges humides ou presque secs, qui ont une fluidité réduite. De gros volumes de béton de chanvre peuvent être réalisés très rapidement. Il n'en va pas de même pour les mortiers plus riches en liant dont la consistance est pâteuse ou molle : une bétonnière sera plus facile d'usage.

Ordre d'introduction des composants du mélange

- Le granulat chanvre est introduit en premier.
- Le liant est incorporé et le malaxeur doit tourner jusqu'à ce que le mélange soit homogène.
- L'eau est introduite, répartie régulièrement. Le malaxage peut cesser dès que le mélange est homogène.





Ordre d'introduction spécifique au ciment prompt naturel utilisé pour les bétons de chanvre

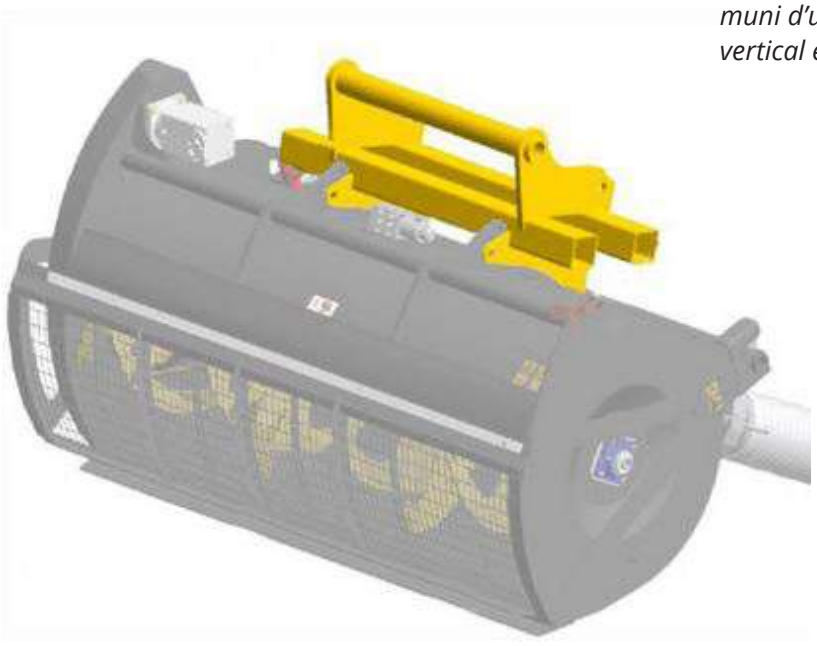
- Le granulat de chanvre est introduit en premier.
- 2/3 de la quantité d'eau est introduite, répartie régulièrement. Le malaxeur doit tourner jusqu'à un mouillage homogène du granulat.
- Le liant, ainsi que l'adjuvant retardateur de prise, sont incorporés et mélangés.
- Le reste de l'eau est introduit. Le malaxage peut cesser dès que le mélange est homogène.

Les malaxeurs à axe horizontal

Ce type de malaxeur est du même type que ceux qui équipent la majorité des machines à projeter les mortiers, avec un volume de cuve bien supérieur. Un demi-cylindre horizontal constitue la cuve, traversé par un axe portant en rotation un ensemble de pales.

Ce type de matériel est difficilement disponible en version transportable sur chantier. Il existe cependant quelques modèles de fabrication plus ou moins artisanale.
Les godets malaxeurs pour engins élévateurs peuvent répondre à cet usage, mais une modification des pales est bien souvent nécessaire.

Ce type de malaxeur correspond à tous les usages des bétons et mortiers de chanvre et permet de mélanger aussi bien des bétons humides que des mortiers mous. Le critère qui dictera l'ordre d'incorporation des composants n'est plus la « cinétique » des grains de différentes tailles et densités, mais l'étanchéité de la trappe de déversement. Si la trappe n'est pas étanche à l'eau, le mélange liant et granulat sera effectué en premier et ensuite mouillé. Si la trappe est étanche à l'eau, toute liberté est laissée pour l'ordre d'introduction (sauf pour les bétons avec du ciment prompt où l'ordre du dosage en malaxeur à axe vertical sera respecté).



Godet malaxeur muni d'un axe vertical et pales.

Avec des moyens de projection mécanisée

Il existe depuis dix ans des machines « spécifiques » pour projeter le chanvre. Elles ont plusieurs fonctions jointes : préparer le béton de chanvre, le transporter du poste de fabrication à l'ouvrage en réalisation et le mettre en place par projection.
Les bétons de chanvre ne sont pas des bétons fluides : mouillés, ils ne glissent pas dans des tuyaux. Les machines existantes ont intégré cette contrainte et ont toutes pour principe de véhiculer le granulat sec.

Deux familles de machine existent.

Machine combinant en bout de lance le mélange de liant et d'eau (barbotine) et le chanvre transporté sec

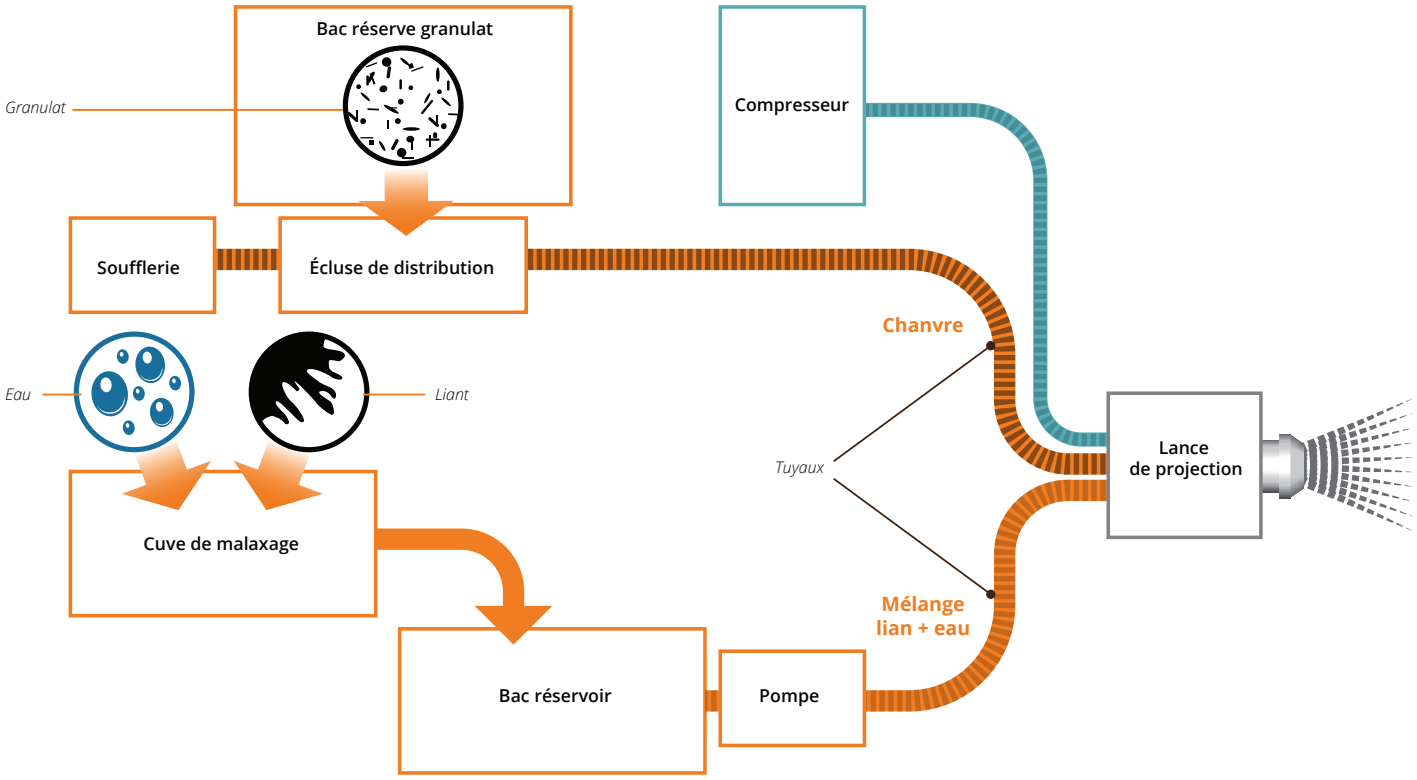
La préparation de la barbotine deux technologies :

- **Machine à fonctionnement continu**. Le malaxeur est de type machine à plâtre : le liant en poudre est mélangé à l'eau de gâchage dans une chambre contenant une vis sans fin et le mélange obtenu est poussé dans un corps de pompe à mortier. C'est la commande de projection (air comprimé) qui met en marche la fabrication du mortier.

- **Machine fonctionnant par gâchées**. Elles comprennent un bac de malaxage et une pompe à mortier avec trémie. Ce sont des machines à projeter les enduits extérieurs, disposant d'un dispositif de couplage avec la machine qui amène le chanvre.

Machine à projeter : Combiné de Maçon

Schéma de principe



Machine à projeter AM3P

Le transport du chanvre

Le chanvre est propulsé par l'air dans un tuyau jusqu'au poste de projection. Pour avoir une quantité de chanvre distribuée de façon constante, des machines existantes ont été adaptées et d'autres créées spécifiquement pour cet usage. Ainsi une cardeuse pour isolants en flocons a été adaptée par un fabricant. D'autres ont repris le principe de l'écluse rotative pour réguler la quantité de chanvre distribuée.

Selon les fabricants, le débit du chanvre sera réglable ou pas.

- Si le débit est fixe, c'est le débit de la pompe à mortier et le rapport eau/liant qui permettent de faire varier les dosages en fonction des couples liant/granulat et des usages.
- Si le débit est réglable, la cadence de projection peut être adaptée à la configuration de chantier.

La lance de mélange et de projection

Au niveau du poste de projection, la lance combine :

- Le chanvre propulsé par air dans un gros tuyau (environ 60 mm de diamètre)
- Le mélange liant/eau poussé par la pompe dans un tuyau caoutchouc
- De l'air comprimé, produit par un compresseur, qui a deux rôles : homogénéiser le mélange et plaquer celui-ci contre le support. Parmi les machines proposées, seule une permet le recyclage des rebuts.

Lance de projection

Guniteuse à chanvre

Machine préparant un mélange sec liant et granulat. Un automate permet de doser la quantité de liant selon les usages. Le mélange est transporté par soufflerie basse pression jusqu'à la lance : le cheminement dans le tuyau permet de bien l'homogénéiser. Celui-ci est hydraté en bout de lance. Un réglage du débit d'eau permet l'adaptation au dosage granulat/liant et aux préconisations des fournisseurs.

Avec cette machine, tous les rebuts peuvent être recyclés.

Guniteuse à chanvre

Autocontrôles

Les contrôles de la qualité du béton et du mortier

Les règles professionnelles ont pour principe que la qualité des bétons et des mortiers repose sur une validation des caractéristiques. Celle-ci est demandée par le fournisseur de liant ou de granulat et effectuée par un laboratoire indépendant. Le respect des dosages préconisés par un fabricant pour un usage garantit les qualités techniques. L'entreprise de mise en œuvre devra veiller à la qualité des matières premières et au respect des dosages.

Qualité des matières premières

● Le granulat de chanvre pour bâtiment doit être choisi dans le cadre d'un couple granulat/chanvre validé.
https://www.construire-en-chanvre.fr/documentation#liants_valides
Il doit être stocké à l'abri des eaux de pluies ou de ruissellement. Un sac de granulat percé et conservé à l'humidité peut présenter des zones noircies. Le chanvre ne présentant pas une couleur claire devra être enlevé.

● Les sacs de liants doivent aussi être conservés au sec et sur des durées raisonnables. Plutôt qu'une règle imprécise, c'est le bon sens qui doit guider la vigilance de l'entreprise de mise en œuvre : un sac de liant présentant des mottes et des gros grumeaux lors de son ouverture ne doit plus servir. Si une date d'utilisation est indiquée sur le sac, elle doit être respectée.

Les règles professionnelles version 2012, disponible sur www.sebtp.fr

Qualité

Savoir faire

Granulat

Béton

Le respect des dosages

● A la bétonnière ou au malaxeur

Il est facile de respecter les dosages en granulat de chanvre, liant et eau en travaillant sur des quantités faciles à mesurer : une base de un demi ou un sac de chanvre.

Le dosage liant/chanvre est exprimé par sac ou par kg. Quand le dosage ne correspond pas à un sac entier, il faudra préparer un contenant à la mesure de la quantité à rajouter. La quantité donnée doit être exprimée en poids : si c'est un demi-sac, il faut préparer en pesant une moitié du poids donné pour le sac. Cette quantité est versé dans un seau : soit la mesure est écrite sur le seau, soit le seau est découpé à la mesure du poids voulu.

La personne en charge du poste doit travailler rigoureusement. La première gâchée permet d'adapter la quantité d'eau, au plus près de la préconisation, à l'humidification voulue en fonction de l'équipe et des conditions de chantiers. La quantité mesurée est ensuite reproduite à chaque gâchée. L'unité de mesure est bien le litre, la mesure au seau (type de seau, presque plein, plein et renversé) est trop imprécise.

● Avec les machines à projeter fonctionnant par gâchées

Les machines ont toujours un débit variable pour la barbotine, mais peuvent avoir un débit fixe ou variable pour le granulat.

Quel que soit le type de machine, le débit du granulat de chanvre doit être contrôlé lors de l'acquisition de la machine et ensuite périodiquement. L'utilisation d'une ressource biosourcée implique l'acceptation et la prise en compte d'une variabilité. La mesure du débit doit être effectuée à chaque usage d'un lot de chanvre (d'un même fournisseur ou de fournisseurs différents). Pour cela, le passage d'un sac en entier (voir de deux pour une meilleure appréciation) est chronométré. Cela permet de définir le débit réel, fixe ou à tel niveau de réglage et de le comparer au débit théorique présenté par le fabricant. Il est normal que des variations existent en fonction de la provenance du granulat de chanvre.

Le débit de la barbotine peut être mesuré aussi en chronométrant le temps nécessaire pour pomper une quantité donnée (10, 20 ou 50 l). Attention, un litre d'eau de gâchage mélangé à un litre ou un kilo de liant ne donne pas un litre de barbotine. La mesure de la dilution doit être effectuée pour connaître le poids de liant utilisé par litre de barbotine.

La connaissance des deux débits permet de connaître précisément le dosage réalisé.
De façon plus simple et générale, lors de l'avancement d'un chantier par période de travail allant de 1 h à la demi-journée, le comptage des sacs de liants et des sacs de granulat de chanvre consommés permet de vérifier le ratio « sacs de liants par sacs de granulat de chanvre ».

Exemple de vérification de dosage

Nous souhaitons suivre la prescription d'un fabricant qui nous indique
Pour 1 m³ de granulat de chanvre :
- Liant x : 220 kg soit 10 sacs de 22 kg
- Eau : 300 l soit 30 l par sac

● Mesure du débit de la machine avec le granulat de chanvre livré : elle donne 30 l/min soit 0,03 m³/min soit 1,8 m³/heure

● Mesure de la dilution selon le dosage prescrit : dans un bac, un mélange est effectué et la quantité de mélange est mesurée. Un sac de 22 kg de liant y + 30 l d'eau = 40 l de barbotine. Le coefficient de dilution (quantité de barbotine/ quantité de liant) est de 40/22 = 1,81

● Réglage du débit machine :
- En 1 heure, il passe 1,8 m³ de chanvre
- La quantité de liant nécessaire est de 220 kg X 1,8 = 396 kg
- La quantité de barbotine nécessaire est de (quantité de liant x coef de dilution) 396 X 1.81 = 720 l
- Mon débit machine doit être réglé à 720 l/heure ou 12 l/ min

● Avec les machines à projeter fonctionnant en continu

La mesure de vérification du dosage doit se faire sur les quantités consommées. Le nombre de sacs vides de liant et de granulat de chanvre doit être contrôlé en permanence pour attester le respect du dosage.
Pour la quantité d'eau, on se fie au débitmètre. Mais cela doit être vérifié à la réception de la machine et régulièrement (au moins un fois par an). Un étalonnage par comparaison à un dosage en eau connu est effectué. D'un côté, une gâchée est réalisée avec une bétonnière ou un malaxeur. De l'autre, le même volume de béton de chanvre est préparé à la machine et projeté en tas. La comparaison de la consistance et du mouillage des bétons permet d'apprécier la justesse du débitmètre et si besoin d'adapter le réglage à la réalité mesurée.

Processus de fabrication

Choix de mise en œuvre pour des solutions techniques dans un cadre socio-économique

Critères de choix		Moyens techniques		
DOMAINE		BÉTONNIÈRE OU MALAXEURS	MACHINE DÉDIÉE À LA PROJECTION CHANVRE	MACHINE À PROJETER (PLUSIEURS USAGES)
Économique	Coût investissement	De 1 500 à 10 000 €	De 15 000 € à 60 000 €	De 20 000 € à 35 000 €
Typologie entreprises	Entreprise spécialisée chanvre			
	Entreprise de construction avec activité chanvre	Achat	Location	Achat ou location
Typologie de chantiers	Petit chantier	Adapté		
	Gros volumes		Adapté	Adapté
Usages		Adapté	Adapté	Adapté
		Adapté	Adapté	Adapté
		Moyens de manutention à prévoir	Adapté	Adapté
		Malaxeurs planétaires moins adpatés	Non	Non

3 - REALISER DES OUVRAGES EN CONSTRUCTION NEUVE OU BATIMENTS EXISTANTS

Mur en béton de chanvre - usage murs — 36 - 49
- Règles générales concernant l'ossature
- Remplir entre coffrages
- Projeter sur un support
- Les détails techniques

Doublages de murs en intérieur — 50 - 58
- Les supports
- Réaliser le doublage
- Les détails techniques
- Les revêtements et finitions

Isolation des sols - usage sols — 59 - 65
- Presciptions générales
- Réaliser des sols
- Les détails techniques
- Les revêtements de sols

Isolation de toitures - Usage toits — 66 - 68
- Prescriptions générales
- Sur plancher de combles perdues
- En rampant sous couverture

Enduits de mortier de chanvre — 69 - 75
- Prescriptions générales
- La réalisation de l'enduit
- L'enduit travaillé en finition
- Les enduits recouverts par une couche de finition

Gérard LENAIN
Président de la commission formation de CenC

« A partir du même granulat, la chènevotte, mélangé à un liant spécifique et de l'eau, toutes les applications réalisables en bétons de mortiers de chanvre seront constituées d'un même matériau. Selon les types d'ouvrages, seuls les dosages varient pour répondre à chaque fonction des éléments construits. Quelles que soit les techniques de mise en œuvre, le matériau chanvre devra être confectionné et utilisé de telle sorte que les performances attendues répondent au cadre des règles professionnelles et des bonnes procédures qui garantissent la qualité et la pérennité des constructions. Les pratiques décrites dans cet ouvrage sont tirées des travaux de recherche et des retours d'expériences de chantiers sur une vingtaine d'années. »

Mur en béton de chanvre - Usage mur

Les premiers murs en chanvre ont été construits avec la technique de remplissage entre coffrages : murs avec ossatures, en périphérie des constructions ou cloisons séparatives. La technique a fait ses preuves et a permis le développement de l'utilisation des bétons de chanvre. Cependant, la contrainte de séchage et la volonté de rationaliser les temps de main d'œuvre et les coûts, ont généré trois développements :

- **La mise en œuvre de blocs préfabriqués,** maçonnés ou à emboitement, de dimensions proches des blocs à construire usuels.

- **La projection mécanique** sur un support.

- **La préfabrication et la mise de panneaux** de murs préfabriqués.

Aujourd'hui, pour mettre en œuvre d'importantes quantités de béton de chanvre, la projection mécanique et la préfabrication apportent des réponses (rapidité d'exécution, réduction du temps de séchage, baisse des coûts), mais le remplissage entre coffrage conserve toute sa pertinence et procure une souplesse d'utilisation non démentie. La préfabrication est traitée dans un prochain chapitre.

Règles générales concernant l'ossature

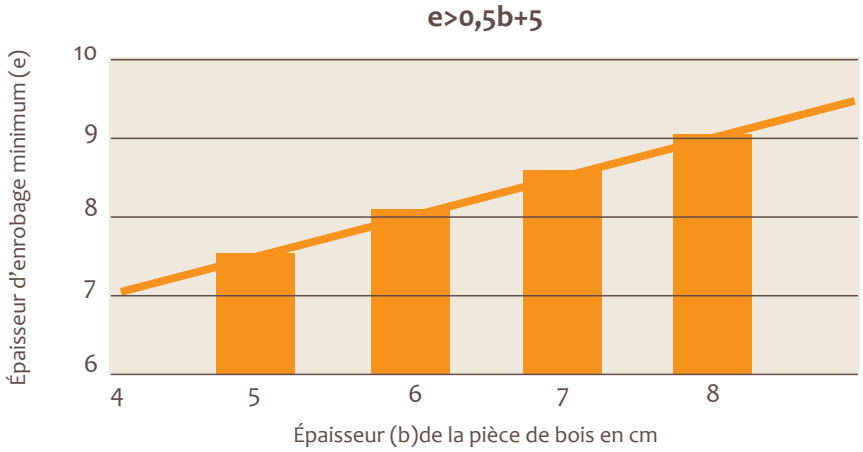
Les demandes pour une conception adaptée

Les ossatures bois doivent répondre aux règles en vigueur de conception et de mise en œuvre qui leur sont propres : Eurocode 5 - DTU 31.1, DTU 31.2.

Les RP2C imposent des dimensionnements des ouvrages en béton de chanvre par rapport aux ossatures bois. L'épaisseur des murs prendra en compte ces épaisseurs minimales d'enrobage et de la performance thermique désirée. Le béton de chanvre jouant deux rôles (remplissage et performance thermique), les interfaces entre béton de chanvre et points techniques des ouvrages imposent une réflexion commune entre le concepteur, le réalisateur de l'ossature et le responsable de l'exécution des bétons de chanvre.

Le béton de chanvre résiste à la compression et contribue à la rigidité des structures en bois. L'état des connaissances actuelles ne permet pas de certifier une valeur de confortement. Le contreventement des structures doit être assuré par l'ossature seule.

Cela parait être une « lapalissade », mais pour obtenir un bon remplissage, il faut pouvoir le réaliser correctement. En cas de remplissage par le dessus, l'accès de toutes les zones à remplir doit être garanti. En cas de projection mécanique (latérale), la constitution de zones inatteignables par la lance, doit être anticipée et évitée.



Epaisseur d'enrobage minimum (e) en fonction de l'épaisseur (b) de la pièce de bois

Cette règle simple doit être connue et prise en compte dès la phase de conception des ouvrages pour éviter tout risques.

Position de l'ossature

Ce chapitre traite principalement de remplissage dans des ossatures bois. Mais les notions sont transférables à d'autres types d'ossature.

L'ossature peut avoir différentes positions :

- ossature noyée dans le remplissage
- ossature déportée vers l'extérieur
- ossature déportée vers l'intérieur

ossature indépendante, située hors de la paroi.

Le choix de la position de l'ossature est aujourd'hui dicté principalement par les choix architecturaux, le mode d'application et le choix du système constructif. Tous les modes présentent des intérêts et des limites dont le maître d'œuvre doit avoir conscience et qui orientent le choix du système.

Ossature externe avant pose du coffrage

POSITION DE L'OSSATURE	INTÉRÊTS	CONTRAINTES ET LIMITES
Ossature noyée	• Solution très adaptée au remplissage par le dessus. Hormis des points singuliers, les zones sont facilement accessibles et, les coffrages peuvent être positionnés aisément sur les deux faces par rapport à la l'ossature. Ventilation et séchage sur les deux faces. • Solution adaptée à une finition enduite à l'intérieur et à l'extérieur.	• Crée des zones masquées si projection mécanique. • Quelques points singuliers demandent une forte vigilance lors du remplissage : sous des pièces de bois horizontales, sous des pièces obliques. • Anticipation nécessaire pour tous les réseaux et fixations de charges à l'intérieur
Ossature déportée vers l'extérieur	• Permet la fixation de panneaux de contreventement en face extérieure. • Très adaptée à la projection mécanique (pas de zones masquées). • Très adapté à une finition intérieure enduite. • Permet tous les choix de finitions extérieures.	• Dans le cas d'un panneau de contreventement extérieur, faisant office de coffrage perdu, très grande vigilance par rapport aux conditions de séchage. Les panneaux devront être perméants à la vapeur d'eau. Ne pas maintenir le chantier hors d'air avant séchage complet du matériau. • Vigilance : acrotères, jonction de planchers, larmiers pour pose d'un plancher. • Anticipation nécessaire pour tous les réseaux et fixations de charges à l'intérieur.
Ossature déportée vers l'intérieur	• Permet la fixation de panneaux de contreventement en face interne. • Très adaptée à la projection mécanique (pas de zones masquées). • Très adaptée à une finition extérieure enduite. • Permet de traiter facilement et indépendamment de l'ouvrage l'étanchéité à l'air, le positionnement et la fixation des réseaux dans un vide technique derrière un panneau de finition. • Conditions de séchage par l'extérieur favorables. • Permet une gestion plus facile des autres tâches internes du chantier.	• Vigilance face aux conditions climatiques : expositions de la face externe des parois aux pluies battantes. • Ne pas maintenir le chantier hors d'air avant séchage complet du matériau. • Choix des panneaux de contreventement, supportant une humidification prolongée (temps de séchage). • Selon le type de panneau utilisé, forte diminution ou perte des performances hygrothermiques du matériau.
Ossature externe		

La réception des supports : points de vigilance

- Ossatures noyées : réservations pour épaisseur d'enrobage (minimum 7 cm, 5cm + ½ épaisseur du bois pour une ossature d'épaisseur inférieure à 8 cm, au-dessus ossatures apparentes sur une face).

- Positionnement de l'ossature : pour les murs neufs extérieurs, les ossatures traversantes sont interdites.

- Présence d'une barrière de rupture de remontées capillaires.

- Réserve entre le bas de l'ouvrage en béton de chanvre et le sol de 20 cm, en extérieur et de 30 cm dans les vides sanitaires.

- Protection supérieure contre la pluie.

- Positionnement et fixation des réseaux qui doivent être tous sous gaine.

- Taux d'humidité des bois : s'assurer avec un testeur d'humidité (humidimètre) pour le bois que celui-ci est inférieur à 18 %.

- Conception de l'enveloppe, comportement à l'étanchéité à l'air.

CHECK LIST | Avant de remplir un mur, **je vérifie** :

☑ La hauteur du soubassement par rapport au sol.

☑ La présence d'une rupture de capillarité.

☑ Les réserves d'enrobages devant les bois.

☑ La présence ou non de zones difficiles ou impossibles à remplir.

☑ La fixation et la protection des réseaux et appareillages.

☑ Le taux d'humidité des bois.

Remplir entre coffrages

Exigences des coffrages

Le béton de chanvre est un béton léger : les poussées latérales restent faibles. C'est aussi, en phase humide, un matériau ayant une fluidité réduite. Le coffrage est là plus pour limiter l'espace à remplir que pour contenir la masse de matériau.

Le béton de chanvre ne tolère pas les huiles de décoffrage : celles-ci seraient partiellement absorbées par le matériau très hydrophile et viendraient « polluer » les premiers centimètres.
En principe le décoffrage est rapide : dès la fin de la mise en place, voire le lendemain en cas de grandes surfaces coffrées d'un seul tenant. Un aspect lisse et non-adhérent de la surface sera recherché.

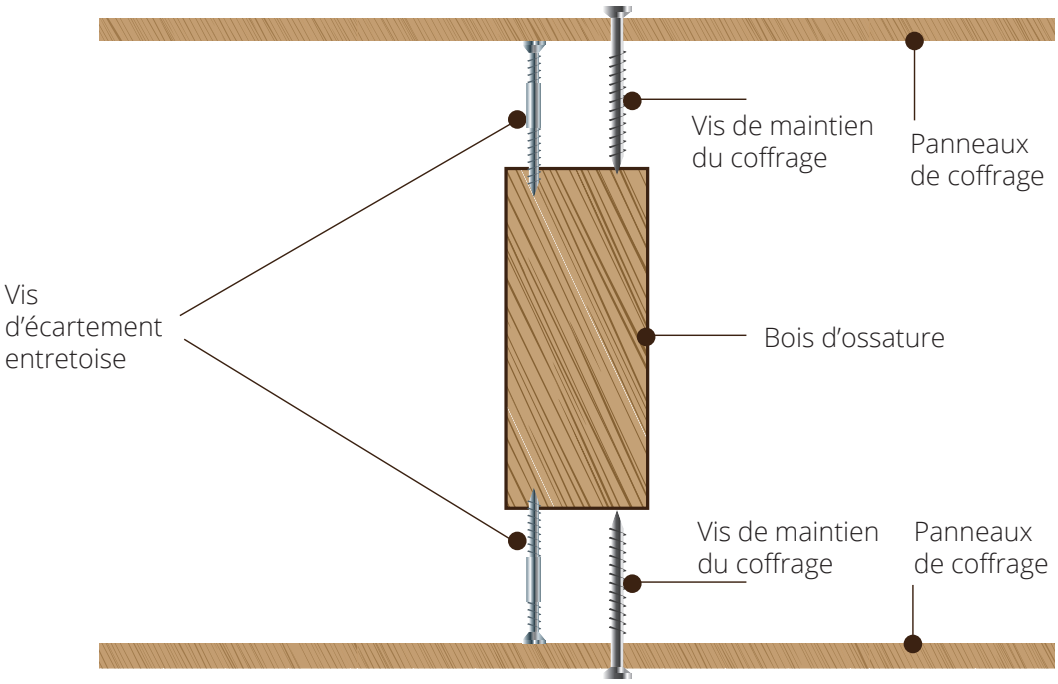
Les panneaux de contreplaqué filmé (ou bakélisé), lisses, constituent un matériau répondant parfaitement aux exigences des bétons de chanvres. Selon leurs épaisseurs (15 mm et plus), des renforts devront être positionnés à l'arrière pour assurer leur rigidité.

D'autres matériaux peuvent être utilisés avec cependant d'autres contraintes et points de vigilance à l'usage :
- toutes sortes de panneaux bois, recouverts d'une feuille de plastique (polyéthylène) et /ou plastiques réutilisables,
- coffrages industriels (légers de préférence) ayant une peau de coffrage lisse (attention le coût d'équipement non-négligeable impose des temps de nettoyage conséquents : à réserver pour un décoffrage immédiatement après remplissage),
- panneaux minces de fibres de bois compressé (type Isorel) : leur déformabilité et leur faible coût permettent une grande adaptation dans le cas d'ossatures anciennes où les bois sont rapprochés.

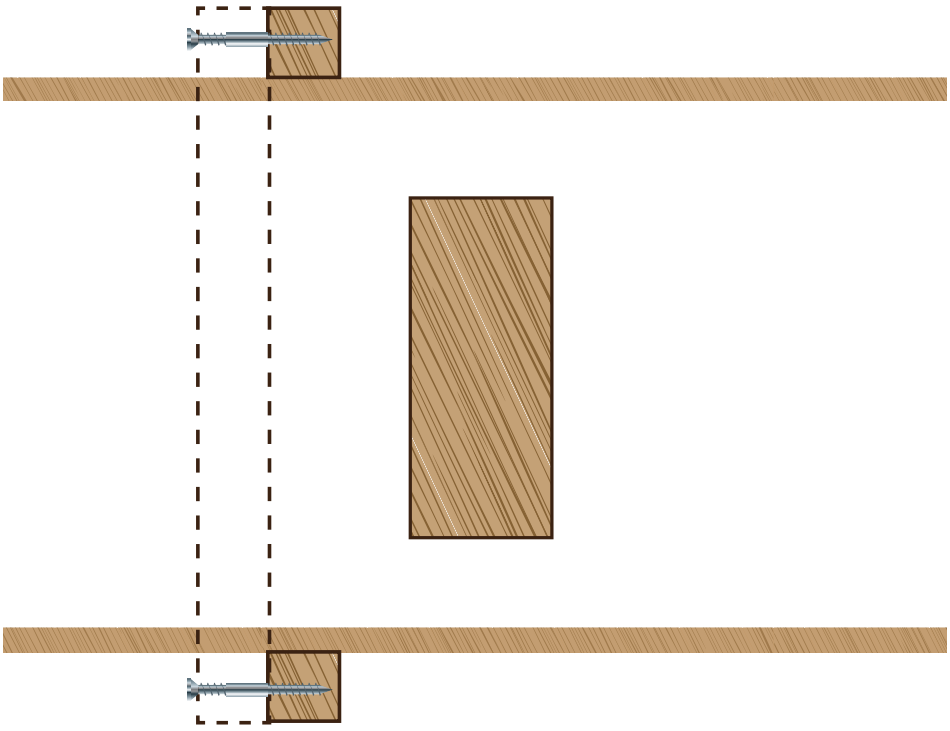
Les matériaux ne correspondant pas à l'usage :
- surface de coffrage métallique (oxydable),
- planches de bois brut.

Pose coffrage en contreplaqué filmé.

Schémas : mise en place des coffrages - vues de dessus



Maintien de l'écartement des coffrages par vis entretoises ou vis d'écartement



Maintien de l'écartement des coffrages par l'extérieur

Effectuer le remplissage manuellement

Un béton de chanvre se met en place. Il ne doit pas être rigoureusement tassé.

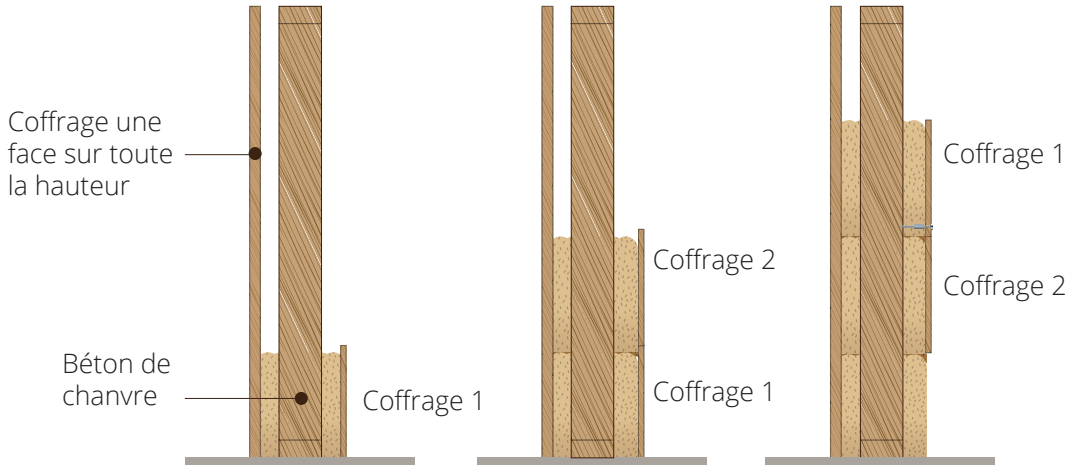
Pour un remplissage manuel, une quantité de béton de chanvre est déversée entre les coffrages et étalée sur une hauteur ne dépassant 10 cm. A ce moment-là, une légère pression est appliquée (à la main ou à l'aide d'un petit râteau), régulièrement, le long des parois et autour de tous les bois. Une pression un peu plus forte sera nécessaire au niveau des angles saillants, ceux-ci étant rapidement exposés.

La répartition et un placement correct ne peuvent être effectués convenablement si l'on ne visionne plus son travail et si l'accès avec un outil n'est plus possible. Seule une hauteur de banche de 70 cm maximum du côté du remplissage le permet cela .
Il est donc conseillé de coffrer une face entièrement pour gagner en efficacité et éviter des coupes de panneaux. Pour l'autre face, des panneaux de 70 cm de hauteur maxi seront utilisés.

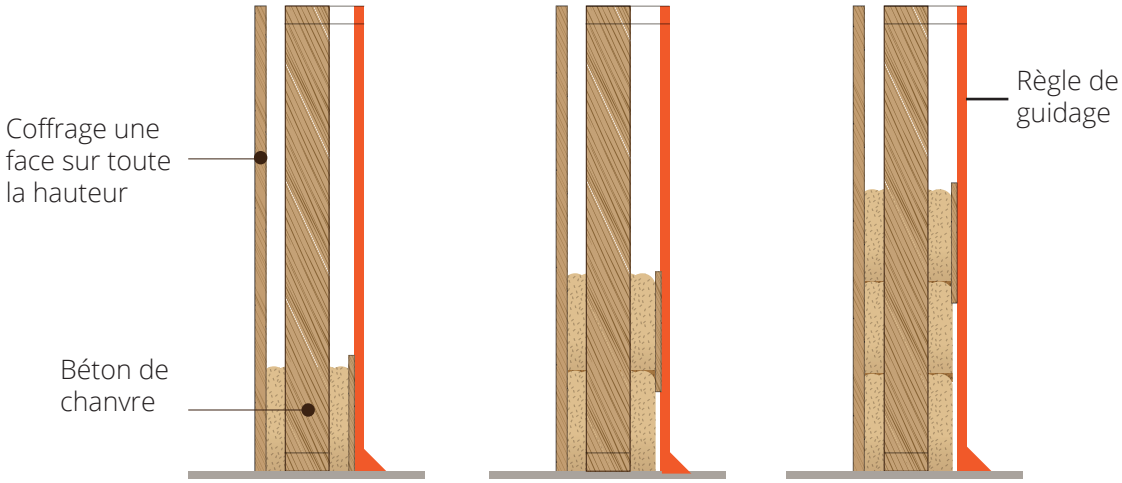
A chaque fois qu'un coffrage est rempli, il existe deux techniques pour poursuivre le chantier :
- Un nouveau coffrage est posé au-dessus. Quand celui-ci est plein, le coffrage inférieur est remonté, c'est une rotation de banche. L'opération nécessite deux jeux de coffrage, voire trois si on préfère avoir plus de temps pour décoffrer,
- Le coffrage est libéré de la paroi et glissé plus haut. Il recouvrira d'au moins 15 cm le béton déjà en place : c'est le glissement de banche. La vigilance est de mise pour les chantiers ayant des hauteurs relativement importantes avec des conditions de séchage lentes (période climatique froide et /ou humide).

Un remplissage entre coffrage peut aussi être effectué avec une machine à projeter. La projection se fera par couches régulières de bas en haut, en tenant la lance verticale orientée vers le bas. Ceci permet de combiner les intérêts de la projection mécanique et la finition lisse et précise du remplissage entre banches. Cependant, une bonne expérience est nécessaire pour obtenir un matériau homogène, sans ségrégation.

Rotation de banche



Glissement de banche



Anticiper les points particuliers

En dessous des pièces horizontales (lisses ou sablières hautes, appui de fenêtres), le remplissage derrière un coffrage n'est plus possible. Le béton sera placé par poignées, par couches successives inclinées et la surface sera finie à la taloche. La dernière position en hauteur du coffrage devra tenir compte de ce point : 20 à 25 cm sont nécessaires.

Projeter sur un support

Nature des supports

La projection ne peut se faire que contre un support. Quand le système constructif a prévu des panneaux de contreventement, ceux-ci servent naturellement de support. Il est aussi possible de projeter sur des supports non contreventants et sur des supports servants de coffrage, destinés à être enlevés par la suite.

En haut : projection sur canisses.
En bas : coffrage par contreplaqué pour projection.

RÔLES DU SUPPORTS	TYPE DE PANNEAU
• Projection sur panneaux contreventants intérieurs.	• Tous types de panneaux admis pour cette fonction, en veillant qu'ils aient un bon comportement à l'eau et une perméance à la vapeur d'eau non négligeable.
• Panneaux contreventants extérieurs.	• Panneaux ayant une forte perméance à la vapeur d'eau.
• Projection sur panneaux ou matériaux non-contreventants (le contreventement est assuré par l'ossature).	• Pare-pluie solidement fixé • Panneaux favorisant le séchage : - Canisses, - Treillis en métal déployé galvanisé.
• Projection sur panneaux provisoires. Intérêts : séchage favorisé par les deux faces.	• Panneau de contreplaqué filmé. • Tout panneau rigide recouvert par une feuille de plastique mince. • Bouclier constitué d'un panneau de bois, déplacé à l'avancement.

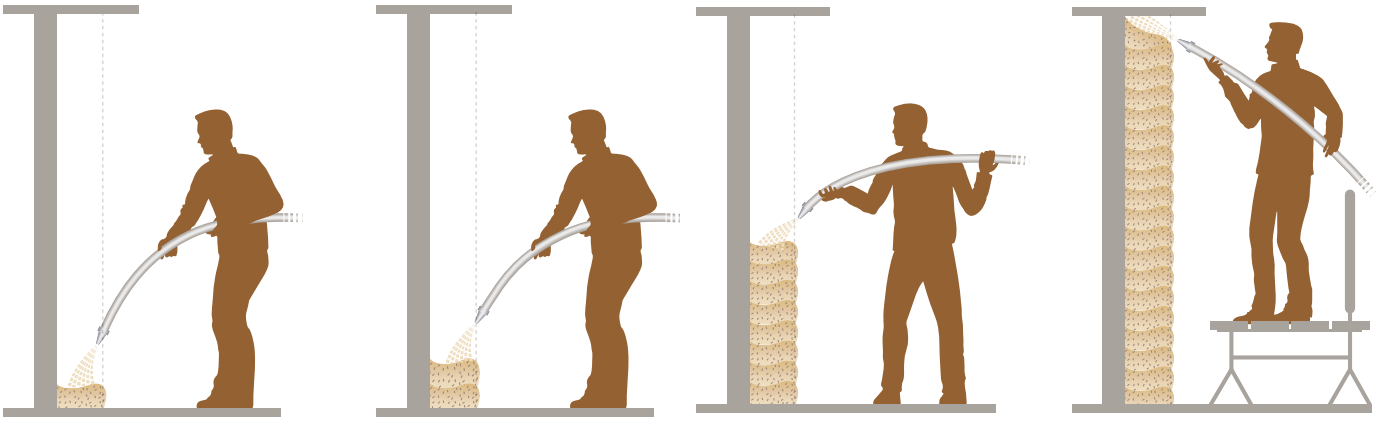
Effectuer la projection

Une machine bien réglée produit un mélange homogène. Au moment des redémarrages, le risque d'un l'enrobage incorrect existe. Les arrêts et redémarrages sont donc à minimiser.
Un grand principe à respecter : la projection ne doit pas se faire perpendiculairement à la surface du mur.

Déroulement de la projection :

- Projection sur la totalité de la base du mur en commençant par un cordon côté extérieur, suivi par un cordon intérieur et remplissage total entre cordons.
- Une nouvelle couche est constituée au-dessus, commençant par le cordon extérieur et avec le même sens de remplissage.
- L'opération est recommencée en montant progressivement et en remplissant la totalité du mur.
- En s'approchant du haut du mur, le cordon extérieur est toujours conservé, et le remplissage se fait en inclinant la lance en fonction de sa maniabilité.

VARIANTE
selon support
quand le support est un coffrage destiné à être enlevé, il peut être judicieux, après avoir projeté sur la base du mur, de faire une projection rapide de toute la surface du panneau, afin d'avoir un rendu homogène sans visibilité des couches de projection.



Il a été démontré que la projection aboutit à une orientation des granulats : ceux-ci se positionnent majoritairement perpendiculairement à la direction de projection.
Une projection avec la lance orientée horizontalement aboutit à la constitution de couches verticales. Un « mille-feuille » placé horizontalement aura plus de chance de se déliter qu'un « mille-feuille » positionné verticalement.

Certaines machines permettent de recycler le béton frais qui provient du nivellement ou des rebonds. Dans le cas contraire, on veillera à garder des zones où les rebuts frais pourront être utilisés (voir paragraphe suivant).

Régler l'épaisseur – dresser la surface

Plusieurs méthodes existent pour arriver à l'épaisseur voulue et pour régler la planéité.

- Des guides (tasseaux en bois ou règles métalliques) sont posés à l'épaisseur voulue et à l'aplomb recherché. Le remplissage se fait jusqu'à un niveau légèrement saillant des guides sans aller contre ceux-ci. La matière supplémentaire est enlevée par recoupe au ras des guides. Le remplissage est réalisé après enlèvement des guides.
- Un niveau laser est positionné dans un angle en haut de mur à l'épaisseur voulue et à l'aplomb recherché. Au fur et à mesure que le remplissage atteindra le faisceau du laser le trait apparaîtra, la lance sera déplacée en suivant l'apparition du trait. Un léger surplus d'épaisseur sera enlevé avec une taloche à pointe. Pour ce mode d'exécution, la pièce devra être assombrie. La protection des baies par un polyane opaque blanc peut jouer un double rôle. Les cadres d'ouverture et autres panneaux de coffrage perpendiculaires à la paroi ne devront pas faire obstacle au passage du rayon laser.

Règles de guidage incluses l'épaisseur à projeter. Règles enlevées, rebouchages à faire.

Anticiper les points particuliers

Certaines pièces techniques ou équipements peuvent constituer des obstacles à la projection. Elles seront appelées « zones masquées ». À la conception, il faudra réfléchir à les minimiser en fonction de la face choisie pour projeter. Les rebuts frais pourront être utilisés pour remplir manuellement certaines zones.

Il faudra cependant revérifier les dosages, éventuellement ramener du liant. Le béton réemployé sera réservé à des usages moins techniques : garnissage en sol ou en toiture.

Pour des points particuliers, il peut être judicieux de changer de matériau (laines, par exemples).

Les points à surveiller :

- ☑ Larmier,
- ☑ muraillère,
- ☑ précadre des menuiseries,
- ☑ coffre de volets roulants,
- ☑ points de jonction des acrotères et couvertines,
- ☑ traversée des ventilations,
- ☑ réseaux dont ventilation centralisée.

Les détails techniques

L'étanchéité à l'air

Bande d'étanchéité à l'air entre pré-cadre et enduit, positionnée avant projection.

Celle-ci peut être assurée de différentes façons.
Ce point doit être traité en amont au moment de la conception. Les raccords entre les différents matériaux doivent être traités spécifiquement (raccord mur/sol et mur/plancher haut ou mur/toit).

L'usage de matériaux et accessoires spécifiques et une formation à la technique sont nécessaires pour réaliser une bonne étanchéité à l'air.

- Etanchéité à l'air par l'enduit intérieur. Les jonctions mur/plafond et mur/sol doivent être particulièrement soignées.
- Etanchéité à l'air par l'enduit extérieur.
- Etanchéité à l'air par panneau contreventant intérieur. On se reportera au DTU 31.2 – chapitre 11.5 Gestion des points singuliers dans le cas d'une barrière à la diffusion de vapeur d'eau en panneaux à base de bois.
- Etanchéité à l'air par membrane placée devant le voile travaillant intérieur.

Les entourages de baies

La pose d'un précadre est une solution très pertinente. Le précadre pourra recevoir un élément de parement ou constituer l'entourage fini des baies. Dans tous les cas, sa rigidité sera assurée, par des renforts, si nécessaire. La protection des entourages finis doit être très soignée.

Précadre avant à gauche. Précadre dans mur fini en haut.

Remplir aux intersections (plancher, etc...)

Le remplissage peut devenir difficile à réaliser si des zones sont complètement masquées par des pièces d'ossature ou si la réserve est insuffisante pour avoir un enrobage conforme avec du béton de chanvre. Des solutions d'adaptation devront être trouvées en utilisant d'autres matériaux isolants, compatibles. La laine de chanvre peut amener des réponses ponctuelles.

Ossature avec plancher d'étage exigeant une autre technique.

Anticiper la fixation des charges

Le béton de chanvre peut supporter des charges légères.

Pour des charges allant jusqu'à 500 g, une vis rentrant de 50 mm de profondeur suffira.
Pour des charges allant jusqu'à cinq kilos, un scellement par cheville chimique rentrant de 7 cm est acceptable. On peut utiliser aussi des chevilles pour béton cellulaire d'une longueur minimale de 7 cm (la charge nominale est à diviser par trois).

Pour les charges d'un poids supérieur, une fixation sur l'ossature est obligatoire. Pour les fixations par rangées horizontales (radiateurs, éléments de cuisine), des lisses horizontales peuvent être prévues. Le respect des règles d'enrobage est impératif (1/2 largeur du bois + 5 cm). A défaut, la lisse sera placée au nu extérieur du mur. Un calepinage des bois d'ossature et des supports de fixation doit être effectué, puis transmis aux différents corps d'état et au maitre d'ouvrage.

Écharpe de contreventement constituant un masque de projection. Remplissage d'un endroit inaccessible en projection par de la laine de bois.

Doublages de murs en intérieur

Les supports

Mur en moellons calcaires, décroûté, nettoyé.

Important : **avant d'intervenir sur un bâti ancien, un diagnostic de l'état structurel et sanitaire doit être effectué.**

La nature des supports

De nombreux types de supports neufs ou anciens peuvent recevoir un doublage en béton de chanvre. Le support doit être rigide et pouvoir absorber de l'eau, même faiblement. Seuls les supports contenant du plâtre sont proscrits.

Supports anciens :

- tous murs en pierre, montés avec mortiers de terre ou sable et chaux,
- les murs en terre (pisé, bauge ou adobes) à condition de rajouter une liaison mécanique (vérification de sa tenue au mur),
- les murs en colombage avec tous type de remplissage (hormis ceux contenant du plâtre).

Supports neufs ou existants :

- bétons exempts de traces d'huile de décoffrage,
- bloc béton de tous types,
- briques de tous types,
- béton cellulaire.

Se reporter au chapitre suivant : « Réhabilitation des bâtiments anciens ».

La liaison au support : couche d'accroche - liaison mécanique

Selon le type de support et le mode d'application, une couche d'accroche devra être réalisée ou une liaison mécanique devra être assurée.

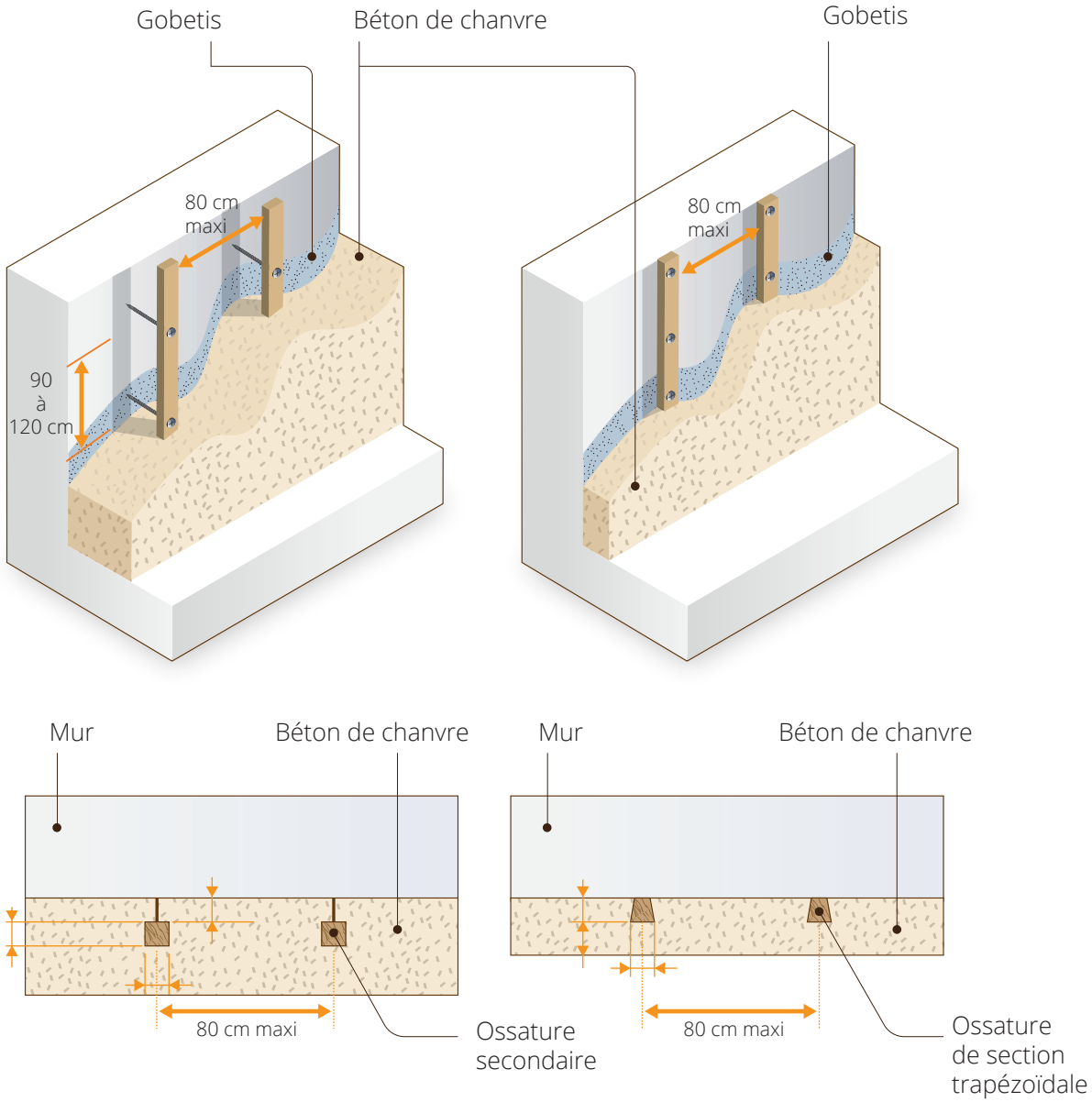
Application manuelle

● Une liaison mécanique avec la paroi est bien souvent nécessaire : chevilles de charpentier plantées en biais (2/m²) ou ossature légère

Projection mécanique

● Support ancien présentant de fortes aspérités : un gobetis peut suffire. Le support est préalablement dégarni des parties friables ou non adhérentes, puis dépoussiéré. Une barbotine légèrement chargée en sable ou en chanvre (moitié granulat/moitié eau + liant) est projetée.

● Supports anciens plans, présentant peu d'aspérités et supports neufs : une liaison mécanique peut s'avérer nécessaire – la réalisation s'effectue comme indiqué ci-dessus.



Réaliser le doublage

Remplissage derrière une banche

Afin d'effectuer un remplissage correct, une largeur de 12 cm est nécessaire entre le mur et la banche.

Il existe deux façons de pouvoir positionner et maintenir la branche :

- Des vis d'écartement sont mises dans l'ossature de maintien et réglées à l'épaisseur voulue. La branche peut être maintenues par d'autres vis et s'appuyer sur les vis d'écartement. Ce système permet, une fois le premier remplissage effectué, de fixer une autre banche par-dessus et d'effectuer une rotation avec la 1e banche.

- Positionner des montants verticaux coincés entre le sol et le plafond, écartés du mur en tenant compte de l'épaisseur de la banche plus un jeu d'un centimètre. La banche est glissée entre les montants et le mur. Des cales d'un centimètre permettront de laisser du jeu et de libérer la banche. Elles sont insérées entre les montants et la banche. Une fois le premier remplissage effectué, la banche est libérée et glissée pour un second remplissage. Laisser un recouvrement de 10 cm environ.

Le remplissage est effectué comme pour un mur par couches successives : le béton est placé et légèrement tassé avec une attention particulière autour de toutes les pièces à enrober. En haut du mur, on se réservera une hauteur de 25 à 30 cm, le déversement n'est plus possible. Le remplissage est réalisé en plaçant à la main et le dressement est effectué avec une taloche et une truelle. Pour cela, la dernière hauteur de banche doit rester coffrée.

Projection mécanique – dressage

Peu de différences entre projeter sur un mur et projeter sur un support : le dressement de la paroi et le réglage en épaisseur se font de la même façon.

Dans le bâti ancien, la verticalité des parois n'est pas un objectif en soi. Conserver un faux aplomb peut faire partie du charme inhérent aux vieilles maisons.

doublage de mur ancien -règles de guidage d'épaisseur

Les détails techniques

Les bas de mur : rupture de capillarité

Le béton de chanvre sera réalisé sur une hauteur de soubassement qui le protégera des eaux de rejaillissements.

La hauteur sera, à minima de 20 cm au-dessus du sol fini. La hauteur minimale sera appréciée en fonction du site et pourra être supérieure.

Une rupture de capillarité est nécessaire à la base de tout ouvrage en chanvre. Elle sera réalisée conformément au DTU 20.1 P1, soit à l'aide d'une bande de feuille bitumineuse armée, ou de feuille plastique ou élastomère, posée à sec sur une couche de mortier de ciment, soit composée d'une chape de mortier de ciment, hydrofugé.

Dans le cas d'un doublage ou d'une paroi rapportée sur un mur ancien ne comportant pas de rupture de capillarité, un diagnostic permettra d'apprécier l'importance des remontées capillaires et des traitements à effectuer.

Se reporter au chapitre suivant :
« Réhabilitation des bâtiments anciens ».

Si un béton de chanvre a une bonne capacité à gérer les transferts hydriques, il ne doit cependant jamais être apposé devant un mur présentant de fortes remontées capillaires et des pathologies. Dans certains cas, la feuille formant la rupture de capillarité devra être remontées le long du mur sur une hauteur de 20 à 30 cm. Si cela s'avère insuffisant, des traitements d'accompagnement sont à prescrire.

Les hauts de mur (retrait)

Avec le remplissage manuel, le béton de chanvre peut avoir tendance à s'affaisser avant le début de la prise du liant.

Le décoffrage des parties hautes doit attendre un peu (2 à 3 h sont conseillées) afin de prévenir les trop forts tassements. Le remplissage sous les pièces hautes doit être soigné : le placement est accompagné d'un léger tassement.

La norme française P20.651 – Durabilité des éléments et ouvrages en bois, définit trois types de conception :

- **drainante,**
- **moyenne,**
- **piégeante.**

Une conception drainante sera mise en œuvre en bas de mur : pièce de bois et forme de l'arase étanche.

Les appareillages électriques

Boitiers électriques à rallonge fixés en fond de paroi.

Effloresecences dues à l'utilisation d'un mortier de scellement inadapté.

Rainurage pour incorporer une gaine oubliée : à éviter.

Les boîtiers électriques doivent être fixés sur un élément solidaire de la paroi ou de l'ossature (liaison mécanique quand elle est présente).

Les interrupteurs subissant régulièrement de légères pressions, les prises devront subir des tractions à chaque débranchement d'appareil.

Pour la réalisation de doublages, les fixations de boîtiers électriques sur des parois existantes se feront sur le fond de la paroi à l'aide de boîtiers à rallonge ou par scellement sur le support. Dans ce cas, le choix du mortier est important : il sera à base de ciment prompt naturel ou d'un mélange ciment prompte naturel et chaux.
Les scellements au plâtre sont proscrits.

Les règles professionnelles version 2012, disponible sur www.sebtp.fr

Les réseaux

Les réseaux (eaux et électricité) peuvent être incorporés dans le béton de chanvre en respectant certains principes :

☑ Tous les tuyaux et câbles doivent être protégés par des gaines.

☑ Dans la mesure du possible, on évite de rainurer après la mise en œuvre du béton. Il est préférable d'incorporer les gaines.

☑ Si possible, les gaines suivront les pièces d'ossature et seront fixées sur celles-ci (verticalement ou horizontalement).

☑ Les réseaux hydrauliques seront placés du côté de la zone chauffée.

☑ Dans le cas de réseaux entre montants d'ossature, on veille à laisser un espace libre de 3 cm minimum entre les gaines afin d'éviter toute rupture de continuité du mur. Dans le cas d'une projection mécanique, l'impact sur le remplissage doit être anticipé.

☑ Pour éviter une fissuration en surface de la paroi, les gaines doivent être recouvertes par au moins 3 cm de béton.

Les fixations lourdes

Les préconisations sont les mêmes qu'en construction neuve pour les charges légères et les charges allant jusqu'à cinq kilos.
Pour les charges d'un poids supérieur, une fixation à la paroi support est obligatoire. Pour les fixations par rangées horizontales (radiateurs, éléments de cuisine), des lisses horizontales peuvent être prévues. Le respect des règles d'enrobage est impératif (1/2 largeur du bois + 5 cm). A défaut, la lisse sera placée au nu extérieur du mur.
Pour éviter une fissuration en surface de la paroi, les gaines doivent être recouvertes par au moins 3 cm de béton.

RÉSUMÉ |

Avant de réaliser un doublage, je vérifie plusieurs points :

☑ le pied de mur (l'étanchéité, les fortes remontées capillaires),
☑ l'état sanitaire du support ,
☑ la stabilité mécanique (par quel moyen sera-t-elle assurée ? adhérence grâce au relief, couche d'accrochage, liaison mécanique),
☑ la fixation des réseaux et appareillages et autres éléments.

Les revêtements et finitions

Les revêtements et toutes les finitions mises en œuvre ne doivent pas entraver la perméabilité à la vapeur d'eau des bétons de chanvre. Une face de l'ouvrage devra absolument être laissée sans revêtement imperméable à la vapeur d'eau.
Les bétons de chanvre ne bénéficient pas à ce jour de classement de résistance à l'arrachement. L'expérience indique qu'ils seraient classés au mieux RT1 (Rt< 0.6 MPa), voire au-dessous de la valeur minimale (Rt > 0.4MPa). Les enduits utilisés ne pourront donc dépasser la classe d'usage Rt1.

Intérieurs : enduits et panneaux

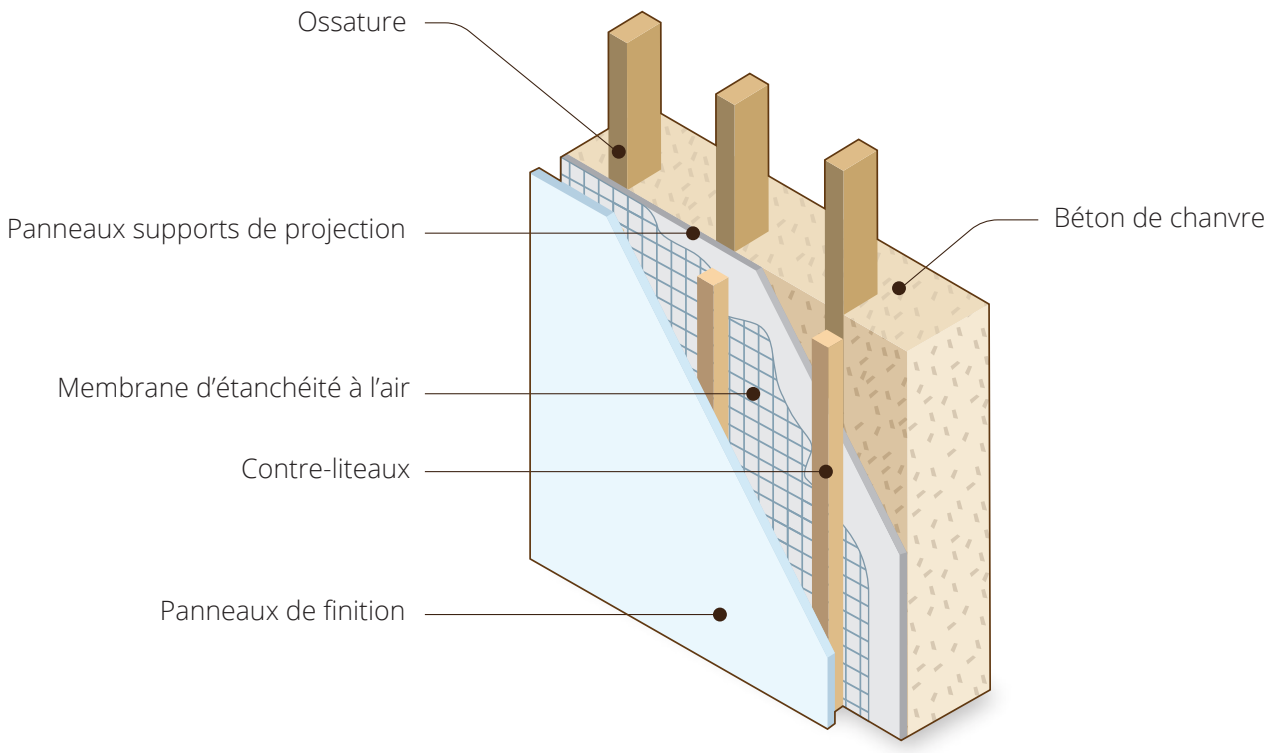
Sur béton de chanvre brut

- **Enduit de terre :** on se reportera au Guide des Bonnes pratiques Enduits en terre (disponible sur www.asterre.org). Des tests de validation de tenue au cisaillement/arrachement d'enduit (10.3. Test N°2) seront effectués pour les mortiers élaborés à partir de terres locales et pour ceux préparés par des fabricants. Pour les premiers, seront également réalisés des tests de validation de la composition d'un enduit (10.2 TEST N°1).
- **Enduit de sable et de chaux de recette :** un enduit à base de chaux de construction aérienne (CL ou DL) ou de chaux de construction à caractère hydraulique de classe 2 et 3.5, peut être réalisé en une ou deux couches sur une épaisseur de 5 à 15 mm (selon planéité du support), trois semaines après la réalisation du béton. Il est cependant noté qu'un séchage complet du béton est préférable avant cette opération.
Pour le choix du liant, il est bon de se rapprocher du fabricant du liant utilisé pour le béton de chanvre pour connaître le liant le plus adapté.
- **Enduit performanciel :** le choix doit se faire parmi la gamme de produits expressément dédiée au béton de chanvre proposée par les fabricants.
- **Enduit de plâtre ou de plâtre-chaux :** ils sont tout à fait compatibles avec les supports en béton de chanvre. Leur application se fera préférentiellement après un séchage complet de celui-ci (au minimum après quatre semaines de séchage). Les plâtres utilisables sont les plâtres pour enduit, les enduits au plâtre et à la chaux, les enduits au plâtre allégé.
- **Enduit en mortier de chanvre :** les murs en béton de chanvre peuvent aussi être finis par un enduit en mortier de chanvre qui sera appliqué sur une épaisseur de 2 à 3 cm. Leur mise en œuvre est décrite dans le chapitre « enduit » (pages ultérieures).

Sur panneaux placés en face interne

Ce guide ne décrit pas les finitions possibles sur des panneaux de contreventement ou sur des panneaux de coffrage perdus. Il attire l'attention sur l'obligation réglementaire d'étanchéité à l'air des constructions neuves. Celle-ci peut être obtenue par un raccordement par scotch d'étanchéité entre les panneaux (étanches à l'air) et au niveau de tous les points sensibles, ou par la pose d'une membrane d'étanchéité à l'air ou frein-vapeur devant les panneaux. Dans cette situation, il est préférable de réserver un vide technique devant la membrane pour préserver celle-ci et permettre le passage des réseaux. Des contre-liteaux sont fixés dans l'ossature devant la membrane pour pouvoir y installer les éléments de finition.

Nota : l'étanchéité à l'air peut aussi être traitée sur la face extérieur des bâtiments.



Extérieurs : enduits et bardages

Sur béton brut

● **Caractéristiques de l'enduit.** Quelle que soit sa nature, il devra obligatoirement présenter deux caractéristiques : assurer l'imperméabilité à l'eau de la façade et être perméable à la vapeur d'eau. L'incorporation de trame de renfort est vivement conseillée.

● **Enduit de recettes et performanciels :** un gobetis faisant office de couche de protection du béton de chanvre (nécessaire en exposition climatique pluvieuse) peut être réalisé rapidement après l'exécution du béton de chanvre. Son épaisseur ne dépassera pas 5 mm (se rapprocher du fabricant pour les enduits performanciels). La réalisation du corps de l'enduit et de la finition se fera après séchage complet du béton de chanvre.

Pour un enduit de recette, un enduit à base de chaux de construction à caractère hydraulique de classe 2 et 3.5 peut être réalisé en une ou deux couches sur une épaisseur inférieure à 20 mm. Pour le choix du liant, il est bon de rapprocher du fabricant du liant utilisé pour le béton de chanvre pour connaître le liant le plus adapté.

Chantier enduit finition.

Chantier enduit finition.

Pour les enduits performanciels, le choix doit se faire parmi la gamme de produits expressément dédiée au béton de chanvre proposée par les fabricants.

- **Enduit à base de plâtre et de chaux :** il peut être réalisé suivant la recette du DTU 26.1 en 25 mm d'épaisseur minimale.
- **Bardage :** un bardage peut être réalisé conformément à la norme NF DTU 41.2. Le pare-pluie préconisé doit être hautement perméable à la vapeur d'eau (HPV).

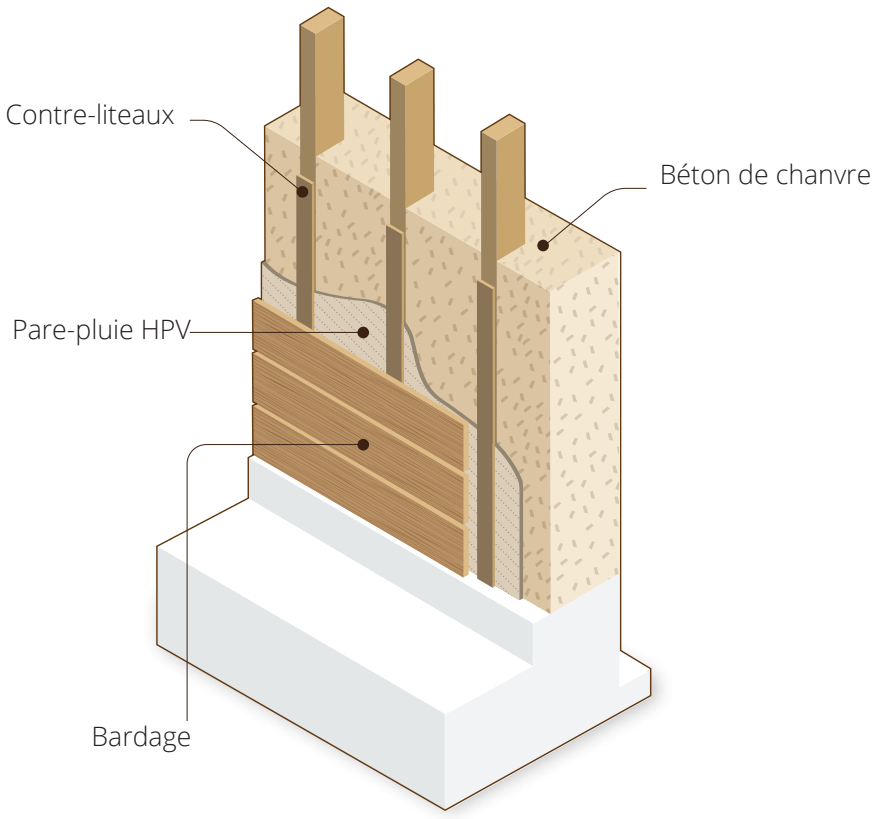
Si l'ossature est noyée ou déportée vers l'intérieur, l'entreprise réalisant le bardage doit être en possession du plan de calepinage de l'ossature accompagné des modifications éventuelles de ce dernier, afin de pouvoir retrouver l'ossature pour se fixer.

Le pare-pluie sera agrafé dans le béton de chanvre sur les lignes de fixation de l'ossature secondaire, afin d'avoir un recouvrement des agrafes.

Le pare-pluie peut avoir été posé précédemment, dans le cas d'une projection sur pare-pluie (voir plus haut). Une vérification rigoureuse de son intégrité aura lieu et son bon fonctionnement sera rétabli si nécessaire.

Sur panneaux placés en face externe

Ce guide ne décrit pas les finitions externes possibles sur des panneaux de contreventement ou sur des panneaux de coffrage perdus. L'élément de finition, quel qu'il soit, doit assurer une barrière à la pluie et aux ruissellements. Le système doit avoir une perméance à la vapeur d'eau supérieure à celle du panneau de façon à permettre un éventuel séchage du mur. Sous l'élément de finition, la pose d'un pare-pluie HPV et la réservation d'une lame d'air ventilée constituent une solution à retenir.



Isolation de sols
Usage sol

Prescriptions générales
Pour l'usage du béton de chanvre pour les sols

Une forme en chanvre est réalisée en sol pour répondre à différents objectifs.

L'objectif de performance thermique est souvent recherché. Ce n'est pas seulement la résistance pour elle-même, mais les performances de résistances et la bonne capacité thermique qui font que le matériau répond aussi bien à des besoins d'économies d'énergies que d'amélioration du confort, été comme hiver.

L'usage du béton de chanvre pour réaliser des formes permet d'obtenir des bétons légers (de 350 à 600 kg au lieu de 2400 kg pour les bétons courants). La résistance minimale à la compression d'un béton de chanvre pour usage sol est de 0, 35 MPa. Il supporte donc largement les charges courantes d'une pièce d'habitation qui sont rarement supérieures à 0,15 MPa.

Appliqué sur un plancher d'étage, un béton de chanvre apportera un affaiblissement acoustique, une résistance thermique et permettra un bon nivellement. Dans le bâti ancien, le chanvre trouve un usage particulier dans le redressement des planchers en bois ou en bois et torchis.

AVERTISSEMENT |
Un béton de chanvre ne doit jamais être enfermé ! Il doit pouvoir respirer au moins sur une face = il doit avoir au moins une face ouverte aux transferts d'eau liquide et vapeur d'eau ! Un sol en béton de chanvre doit également avoir une sous-face ouverte aux transferts de vapeur d'eau et capillaire.

Chantier isolation de sol.

En rez de chaussée sur élément porteur

Une forme en béton de chanvre n'est pas considérée comme un élément porteur. L'élément porteur pouvant recevoir une forme en béton de chanvre doit être ouvert aux transferts d'eau liquide et de vapeur d'eau. Ce ne peut être une dalle pleine de type béton armé, sur terre-plein ou sur vide sanitaire. Les supports qui peuvent convenir sont les planchers en bois sur vides sanitaires ou les « hérissons » si leur portance est avérée.
Le support doit empêcher les remontées d'humidité du sol aussi bien par-dessous que latéralement : une membrane assurant la rupture latérale de capillarité est indispensable dans le bâti ancien où la barrière de capillarité est inexistante.

Sur plancher d'étage

Les formes en béton de chanvre trouvent toute leur place sur les planchers d'étage aussi bien neufs qu'anciens. La portance du support doit être vérifiée. Si besoin, un étaiement sous plancher sera réalisé pour prendre en compte la charge du béton mouillé lors de sa mise en œuvre. Grâce à la forte hydroscopicité du béton de chanvre, lors de sa mise en œuvre, il n'y a pas d'eau en surplus qui puisse couler et traverser l'élément support. Celui-ci va cependant subir une humidification, par capillarité et transfert de vapeur d'eau. On sera vigilant avec les bois chargés de tanins (comme le chêne) qui noircissent au contact de la chaux. Les planchers en torchis ne nécessitent pas de précautions particulières.

Comment bien protéger des planchers supports pour ne pas les tacher :

☑ Ne pas mettre de feuille plastique
☑ Dérouler une feuille en matériau absorbant, de type membrane frein-vapeur en papier kraft, ou une pare-pluie H.P.V.
☑ Etendre 1 à 2 cm de chènevotte sèche
☑ Et après travaux, respecter de bonnes conditions de séchage, suffisamment longtemps avant recouvrement.

AVERTISSEMENT |
Point de vigilance sur plancher d'étage :
la rupture de capillarité latérale. Veuillez à ce que lors de la mise en œuvre, le béton de chanvre ne vienne pas humidifier et tacher les murs latéraux. Une bande de plastique sera mise en place et recoupée juste au-dessus, une fois l'ouvrage achevé.

RÉSUMÉ |
Réception d'un support pour forme en béton de chanvre pour usage sol :

- pas en secteur inondable,
- sur un élément porteur en rez de chaussée ou plancher d'étage (attention surcharge ponctuelle lors de la mise en œuvre),
- sous face permettant d'évacuer l'eau et la vapeur d'eau,
- mise en œuvre en situation sans reprise d'humidité possible, ni par-dessous, ni par les côtés.

Réaliser des sols

Pour mémoire, l'épaisseur d'une forme isolante en béton de chanvre est de 15 cm minima. Elle peut descendre à 10 cm pour un plancher d'étage. La tolérance de planéité est de 10 mm sous la règle de 2 m.

Déversement manuel avec repères

Le mode de réalisation reste assez proche de celui d'une dalle ou d'une chape, réalisée manuellement avec n'importe quel béton plastique. La particularité du béton de chanvre tient au comportement du matériau qui a tendance à s'arracher lorsque l'on veut le niveler par traction sur une règle en exécutant des mouvements de va et vient. Il faudra adapter le geste pour combiner nivellement et placement des grains.

Pour obtenir la planéité à la hauteur définie, diverses méthodes sont utilisables, en fonction des habitudes des personnes en charge de la mise en œuvre :

- pose de règles de guidage, enlèvement à l'avancement et rebouchage des trous. Les règles de guidages sont posées de niveau sur des plots constitués de béton tassé,
- réalisation de chemin de guidage en béton de chanvre. Ceux -ci peuvent être protégés par des feuillards métalliques.

Au fur et à mesure de sa fabrication, le béton de chanvre sera approché, déversé sur le sol et nivelé. Il ne doit pas être tassé pour ne pas réduire sa résistance thermique, ni augmenter la consommation de liant et chènevotte par m^2 réalisé.

Par projection mécanique

Un sol en béton de chanvre peut être réalisé à l'aide des machines à projeter. Cette méthode présente un intérêt certain : le transport du poste de malaxage à l'endroit de mise en œuvre est assuré par la machine. La contrepartie peut être d'apporter un plus grand soin à la protection des bas de murs dans le cas de finitions déjà réalisées.

Pour obtenir la planéité à la hauteur définie :

- la machine malaxe et transporte le béton de chanvre ; le réglage à la hauteur et à la planéité voulues est effectué comme décrit ci-avant,
- le guidage au niveau laser : ceci nécessite de contrôler la luminosité dans la pièce concernée (des baies seront éventuellement occultées). Un niveau laser rotatif est positionné à la hauteur de dessus de dalle définie, proche de la porte permettant la sortie de la pièce en fin de réalisation. La projection du béton commence à l'opposé de la pièce. Quand la couche de matériau projeté croise le rayon laser, celui-ci apparait à la lisière du matériau. Il suffit de déplacer la lance et le rayon laser suivra le niveau de matière rejoignant la hauteur définie. Un rapide talochage permet de combler les quelques irrégularités et interstices présents et de s'approcher des tolérances acceptables.

Forme en sol tirée sur règles de guidage.

Réalisation d'une forme de sol avec machine à projeter.

Les détails techniques

Les reprises

Pour l'usage sol, comme pour tout ouvrage en béton de chanvre, à chaque fois qu'une reprise est effectuée lors de la réalisation d'un ouvrage, une barbotine (eau + liant) sera appliquée à l'endroit de la reprise pour éviter l'apparition d'une fissure de reprise. On peut considérer qu'après un arrêt de deux heures, cette opération devient nécessaire.

Intégration des réseaux

Puisque les formes en béton de chanvre participent à la performance thermique, le principe de placer tous les réseaux dans la zone chaude de l'enveloppe du bâti doit être retenu. Ceci est valable pour les réseaux hydrauliques, notamment ceux transportant la chaleur, et pour toutes les gaines débouchant dans l'enveloppe (réseau électrique).
Les réseaux peuvent être positionnés au-dessus des formes isolantes. Cette solution facilite la réalisation de la forme, mais peut conduire à la réalisation d'une couche de ravoirage impliquant une réservation de hauteur, une consommation supplémentaire de matériau et un ajout de poids.
Une forme isolante en béton de chanvre n'étant pas un ouvrage structurel (qui ne doit pas être affaibli sur cet aspect), les réseaux peuvent être positionnés dans la forme, vers la zone chaude, sans dommage. On veillera à préserver un espace de 5 cm au-dessus ceux-ci pour éviter l'apparition de fissures de retrait. Leur positionnement en surface est acceptable.
Cette intégration pose cependant un problème de réalisation : il faut imaginer un positionnement des gaines en hauteur si celles-ci sont installées avant, ou une intervention conjointe et coordonnée des différents corps d'état.
La solution de la pose au-dessus, dans une couche de ravoirage en béton de chanvre, n'est donc pas à négliger.

Joints de rupture et dilatations

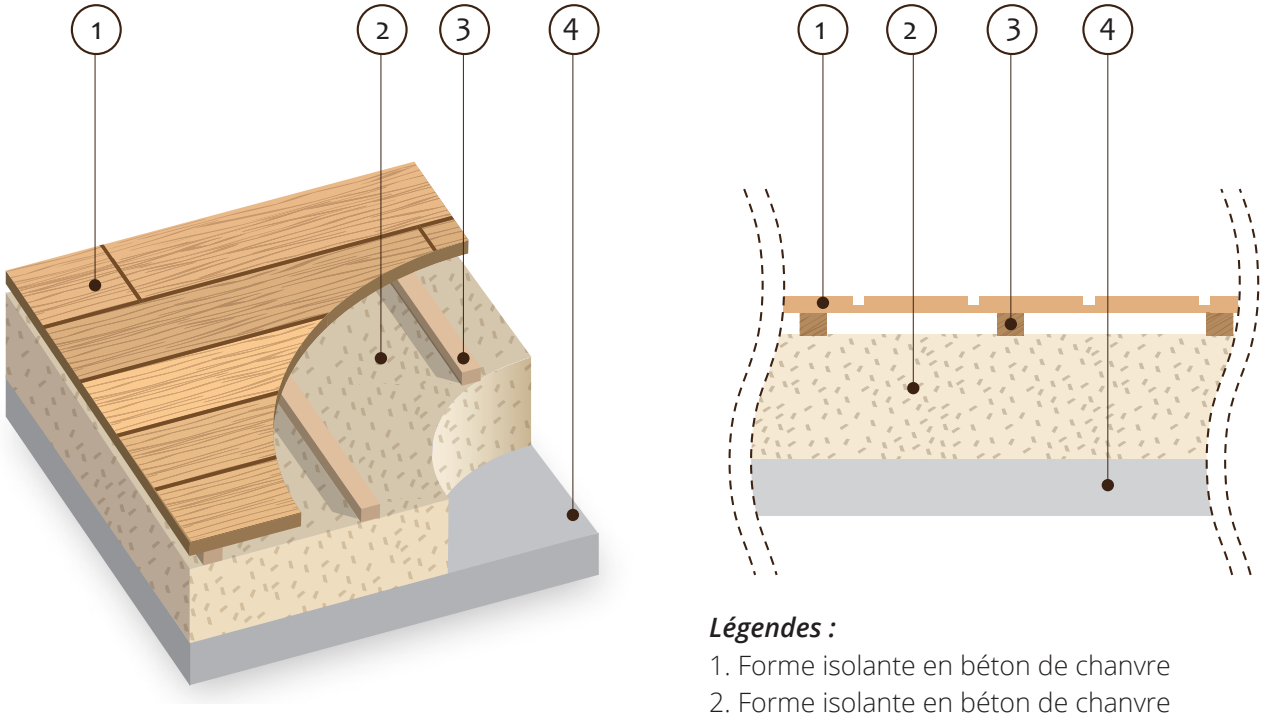
Des joints de rupture devront être réalisés en cas de grandes surfaces ou de grandes longueurs, et à chaque fois que l'élément porteur présentera une rupture dans sa nature (fondations sous-jacentes, poutre ou mur porteur entre deux planchers, etc...)

Les revêtements de sol

Tous les types de revêtements sont possibles sur les formes en béton de chanvre. Hormis pour la pose de parquets sur lambourdes, une chape de répartition devra être réalisée. Les caractéristiques du liant de cette chape devront être compatibles avec celles du liant du béton de chanvre : le fabricant de ce dernier saura conseiller le liant adéquat, ainsi que le dosage à respecter.

Le revêtement ne sera réalisé qu'après séchage complet du béton de chanvre : une durée minimale d'une semaine pour 2 cm d'épaisseur est requise quand une seule face permet le séchage. Elle peut être réduite à une semaine par centimètre d'épaisseur quand le séchage peut se faire par les deux faces.

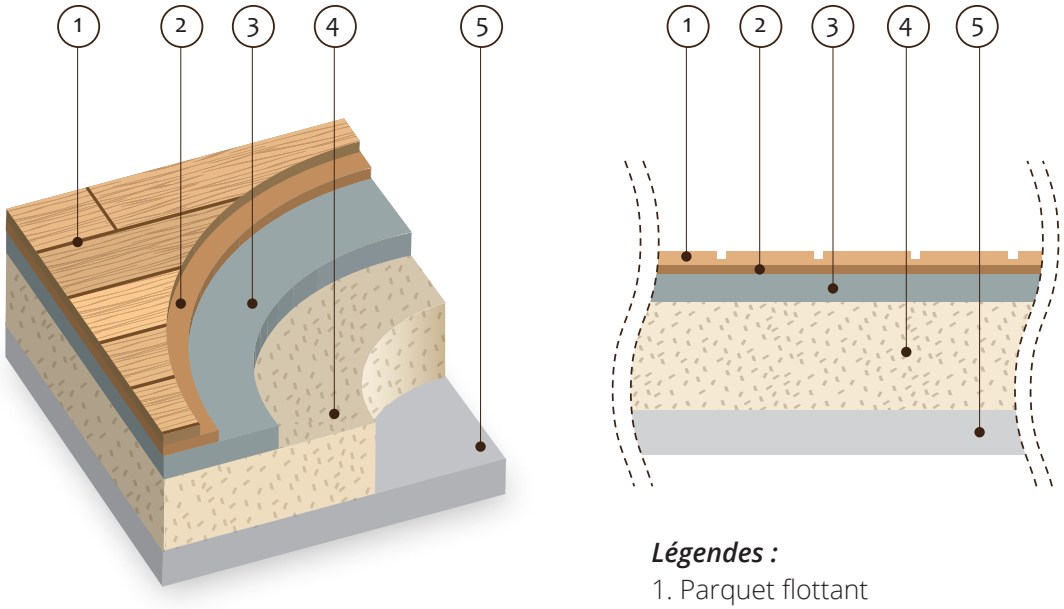
Schéma simplifié de plancher sur lambourdes sur forme de béton de chanvre



Légendes :

1. Forme isolante en béton de chanvre
2. Forme isolante en béton de chanvre
3. Plancher sur lambourdes
4. Élément porteur

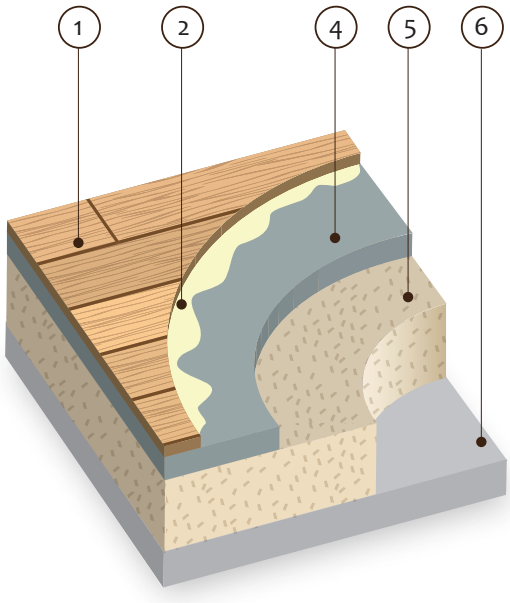
Schéma simplifié de parquet flottant sur forme de béton de chanvre

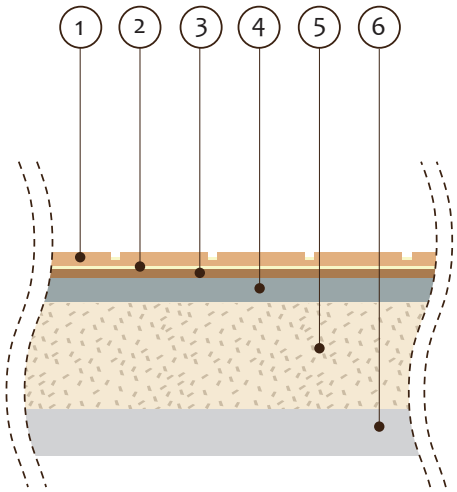


Légendes :

1. Parquet flottant
2. Sous-couche résiliente
3. Chape
4. Forme isolante en béton de chanvre
5. Élément porteur

Schéma simplifié de parquet collé sur forme de béton de chanvre

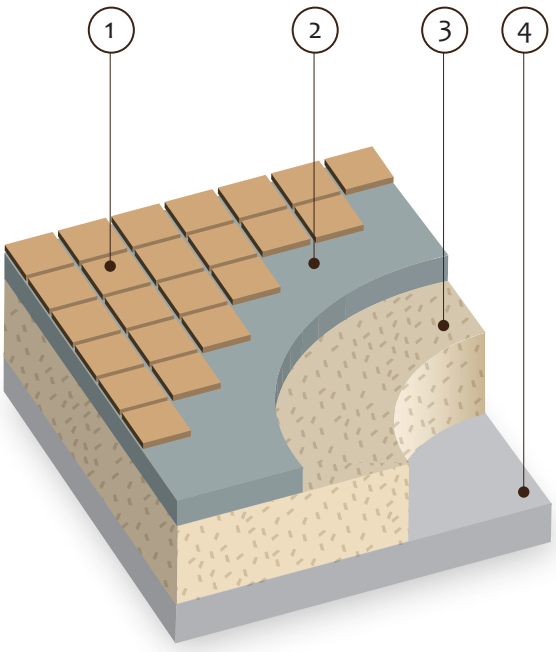


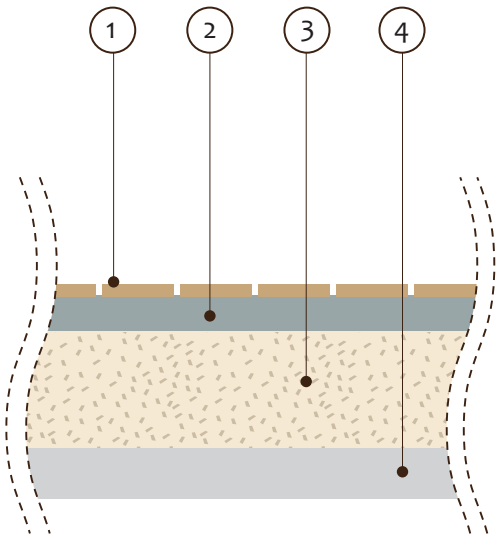


Légendes :

1. Parquet flottant
2. Colle
3. Sous-couche résiliente
4. Chape
5. Forme isolante en béton de chanvre
6. Élément porteur

Schéma simplifié de carrelage scellé sur forme de béton de chanvre

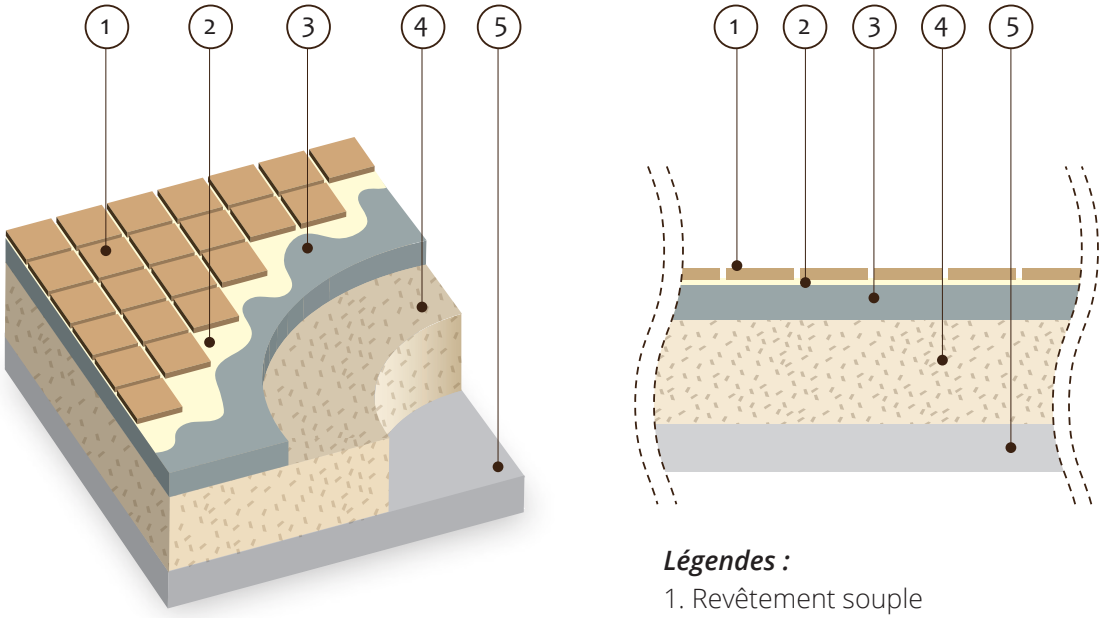




Légendes :

1. Carrelage
2. Mortier de scellement
3. Forme isolante en béton de chanvre
4. Élément porteur

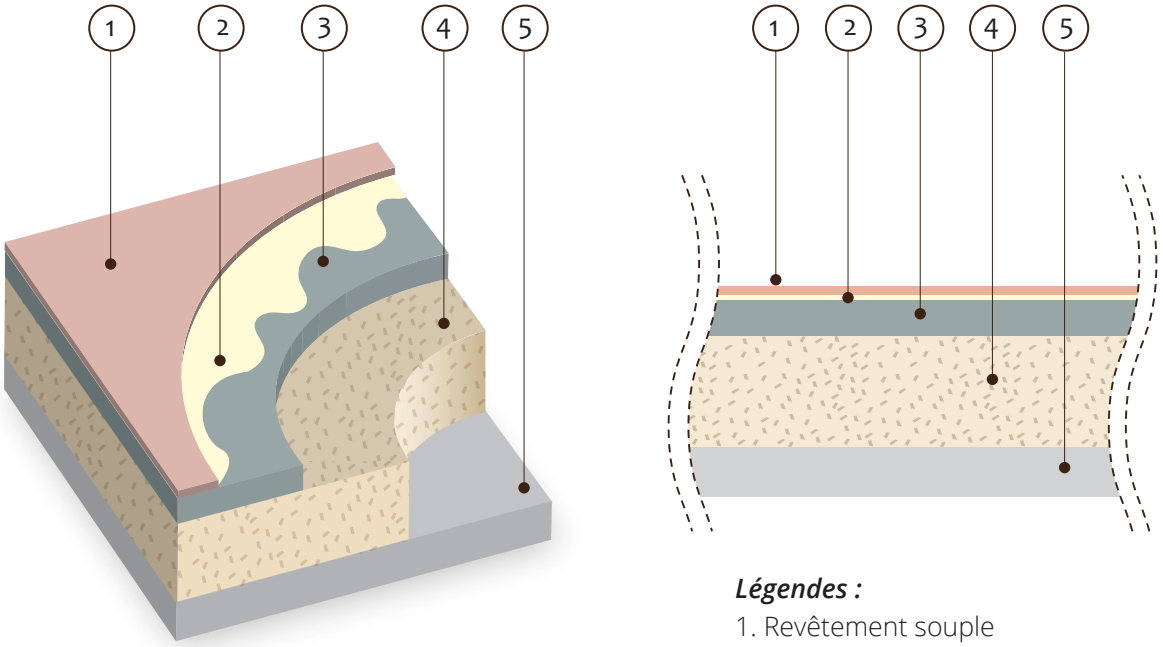
Schéma simplifié de carrelage collé sur forme de béton de chanvre



Légendes :

1. Revêtement souple
2. Colle
3. Chape
4. Forme isolante en béton de chanvre
5. Élément porteur

Schéma simplifié de revêtement souple sur forme de béton de chanvre



Légendes :

1. Revêtement souple
2. Colle
3. Chape
4. Forme isolante en béton de chanvre
5. Élément porteur

Isolation de toitures
Usage toits

Prescriptions générales

Les bétons de chanvre peuvent être utilisés comme matériau d'isolation de toiture en rampant ou sur plancher de comble perdus non circulables, ainsi qu'en remplissage de caissons de planchers intermédiaires.

Les bétons sont faiblement dosés en liant afin d'obtenir des performances thermiques importantes : lambda compris 0.056 et 0.07 (données fabricants). La bonne capacité thermique et le comportement hydroscopique du matériau en font un très bon isolant d'été. La masse volumique sèche des bétons varie entre 190 et 240 kg/m^3 (données fabricants).
Le liant permet d'agglomérer les granulats sans apporter de résistance mécanique significative. Le béton restera en place et ne se tassera pas. Le liant protège les particules des insectes et des rongeurs.

Béton de chanvre à usage toit et humidité du béton frais

Un béton de chanvre à usage toit apporte de l'humidité (eau de gâchage et eau de carbonatation) lors de sa mise en place. Si le mélange respecte les prescriptions des fabricants, il n'y a pas d'eau en surplus, donc pas de risque de coulures. Cependant le mélange étant mouillé, de l'humidité pourra atteindre le support. Il convient donc de prendre cette migration en compte :

- Le support ne doit pas se déformer en étant humide. Attention aux plaques de plâtre plus sensibles que les plaques gypse-fibres de bois (Fermacell). Les supports bois peuvent gonfler : des jeux de dilatations doivent alors être intégrés.
- La chaux interagit avec les tanins de bois. Certains bois sont très sensibles et noircissent sous l'effet d'un mouillage par une eau contenant de la chaux. Dans le cas de sous-face où le support en bois fait également office de finition, il vaut mieux se prémunir contre tout mouillage.
- La solution la plus simple est d'étaler 2 à 3 cm de chanvre sec sur l'élément à protéger. Une membrane pare-vapeur, perméante à la vapeur d'eau, en papier, peut venir compléter efficacement la première opération et permet, si besoin, de parfaire l'étanchéité à l'air.

Un béton de chanvre à usage toit ne garantissant pas une étanchéité à l'air, celle-ci doit être traitée indépendamment.
Un béton de chanvre à usage toit sera toujours mis en œuvre avec une face ouverte aux transferts de vapeur d'eau. Hormis dans des caissons de plancher, la face supérieure doit toujours conserver cette caractéristique. Dans le cas de caissons, la conception doit répondre à cette contrainte.

Attention aux conditions climatiques lors de la pose pour éviter les désordres.

Sur planchers de combles perdus

Les supports admissibles, note de calcul des charges et préparation des supports

Tous les supports aptes à supporter la charge peuvent être admis. L'attention sera portée sur les éventuels transferts d'humidité du matériau dans son jeune temps (voir paragraphe précédent). Au besoin, un étaiement sera posé sous les planchers pour supporter la surcharge du béton frais et mouillé.

Exemples de masse volumique des bétons à usage toit (données fabricants)

Béton de 33 cm d'épaisseur	Poids à la mise en œuvre (en kg)	Poids du béton sec (en kg)	Résistance thermique (R)
Béton toit x	148	73	5,5
Béton toit y	138	66	5,9
Béton toit z	164	88	5,5

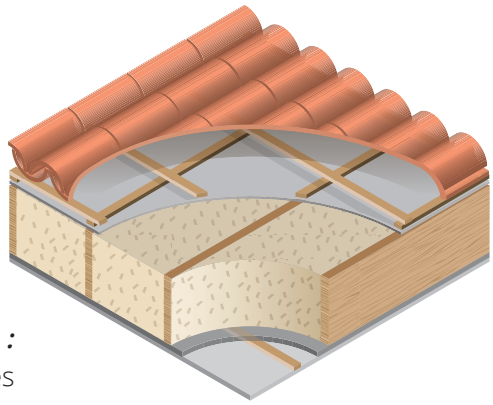
Les masses volumiques apparentes des bétons de chanvre à usage toit varient entre 200 kg/m^3 et 265 kg/m^3. Ces données doivent être communiquées à l'entreprise en charge de la réalisation de l'élément support du béton isolant et à l'entreprise en charge de la réalisation de la structure. Il faut vérifier la charge admissible par le support en place.
Sur le plancher d'un comble perdu plat (plancher non circulable), la pose d'une membrane frein-vapeur en papier kraft permet de se protéger d'éventuels transferts d'eau à la mise en oeuvre et surtout d'assurer l'étanchéité à l'air du plancher, si cela s'avère nécessaire.

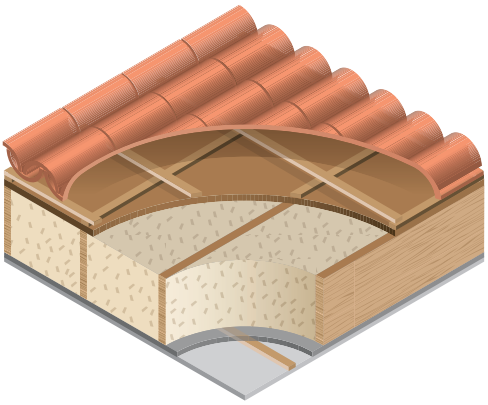
En rampant sous couverture

Les règles professionnelles version 2012, disponible sur www.sebtp.fr

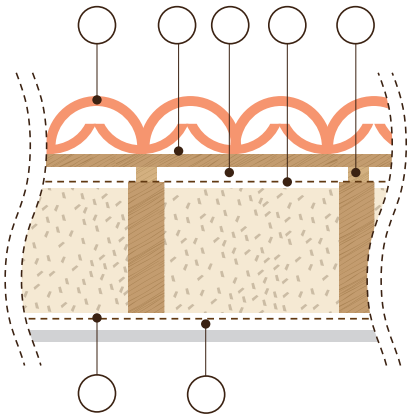
Le remplissage, les réserves de ventilation sous toiture et le pare-pluie

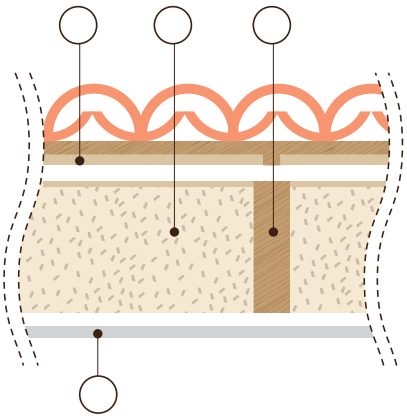
Les bétons préparés en malaxeur ou en bétonnière sont transportés jusqu'à la zone à remplir et déversés dans l'espace prévu pour le béton isolant. L'espace est rempli en totalité et le béton est arasé en surface à l'aide d'une réglette. La surface est légèrement damée par un talochage qui ramènera le niveau du béton à 2 cm en dessous du haut des bois.
Pour les bétons préparés et acheminés avec une machine à projeter, le remplissage s'effectuera de la même façon. On veillera à garder une réserve de 2 cm en dessous du haut des bois.
Une fois le remplissage effectué, une membrane pare-pluie HPV sera mise en place. Celle-ci assurera une protection temporaire du béton sans empêcher son séchage. La lame d'air de 2 cm constituée sous le pare-pluie est nécessaire pour obtenir un bon séchage.
La pose de contre-liteaux, de liteaux et d'éléments de couverture peut s'effectuer ensuite, dans le respect de leurs propres cahiers des charges.
Les bétons de chanvre à usage toit (les règles professionnelles définissent un usage toit) sont mis en œuvre soit par déversement, soit par projection mécanique. Dans les deux cas, l'opération se fait par le dessus.





Légendes :
1. Tuiles
2. Contre-liteau
3. Liteau et lame ventilée
4. Ecran souple/ rigide pare-pluie HPV
5. Béton de chanvre (type toiture)
6. Béton de chanvre
7. Chevron
8. Frein vapeur
9. Liteau et vide technique
10. Plaque de plâtre





Enduits de mortiers de chanvre - Usage enduit

Prescriptions générales

Les enduits en mortier de chanvre sont utilisés pour :

- une amélioration de la performance thermique : ajout d'une légère résistance thermique et de phénomènes endo et exothermiques liés à la condensation capillaire.
- leur forte capacité de régulation hygrique (vapeur d'eau) et hydrique
- un affaiblissement acoustique
- leurs qualités esthétiques

Ces enduits expriment toutes leurs capacités sur des supports minéraux absorbants, notamment les murs anciens. Ils permettent d'effectuer des finitions compatibles (et « dans le même esprit ») sur les surfaces internes des murs neufs en chanvre.

Sur d'autres supports ayant un faible capacité d'absorption de l'eau (bétons, blocs bétons), leur comportement hydrique ne pourra pas être aussi bénéfique. Mais on pourra profiter des autres qualités, à la condition d'assurer une bonne tenue au support.

Enduit chanvre.

Sur la face externe des murs, l'apport d'une faible résistance thermique peut présenter des intérêts non négligeables dans des situations où seules de faibles épaisseurs peuvent être rajoutées. Dans ce cas, les enduits devront être recouverts par une couche de finition imperméable. Attention, les enduits en mortier de chanvre ne peuvent être considérés comme des enduits isolants.

Les supports et leur préparation (renvoi sur chapitre 4 pour les bâtiments anciens)

Tableaux des supports admissibles et préparations nécessaires

SUPPORT	ADMISSIBLE	PRÉPARATIONS
Murs en béton de chanvre	Oui	Gobetis d'accrochage, si besoin Humidification si besoin
Béton	Oui	Nettoyage des huiles de décoffrage Gobetis d'accrochage
Blocs bétons	Oui	Gobetis d'accrochage
Briques	Oui	Humidification à l'avancement Gobetis d'accrochage
Blocs de béton particuliers particuliers et bétons cellulaires	Se rapprocher du fabricant	
Murs (pierre ou briques) montés au plâtre ou contenant du plâtre	Non	
Maçonnerie de pierre neuve	Oui	Humidification Gobetis d'accrochage
Maçonnerie de pierres ou de briques anciennes	Oui	Diagnostic préalable Dépoussiérage Humidification, si besoin Gobetis d'accrochage, si besoin
Murs composés de terre	Oui	Gobetis NHL 2

La liaison au support : couche d'accroche

Une couche d'accroche crée un relief dans lequel le mortier de chanvre vient s'accrocher mécaniquement. Elle doit bien adhérer au support. Pour cela, le liant sera choisi en fonction de la résistance à l'arrachement du support. Elle joue aussi un rôle dans le transfert d'eau vers le mur lors de l'application. Elle ne devra donc pas bloquer ces transferts. Le liant utilisé pour réaliser le mortier de chanvre est bien souvent satisfaisant. Il faut cependant le vérifier auprès du fabricant.

- Pour les supports à base de ciment et les briques de terre cuite, le liant pourra être ; une chaux de classe 5, un mélange de ciment et de chaux NHL, une chaux HL ou FL dont l'usage est conseillé pour le support.
- Pour les maçonneries anciennes, les chaux de constructions de classe 2 et 3.5 conviendront. Pour les chaux HL et FL, ont se rapportera aux prescriptions du fabricant.

Pour tous les supports ne présentant que peu de relief, la couche d'accroche sera réalisée par la projection manuelle ou mécanique d'une couche comportant de gros granulats, qui sera laissée brute de projection. Les granulats peuvent être des sables et/ou des granulats de chanvre. La couche ne pourra être recouverte qu'après un durcissement suffisant (une semaine minimum).

Pour les supports anciens présentant un relief important (murs de moellons décroûtés, dégarnis), la couche d'accroche peut jouer deux rôles : renforcer l'adhérence du mortier de chanvre et améliorer le confort de travail. La couche d'accroche, appelée aussi gobetis, peut être réalisée juste avant la première passe d'enduit de chanvre : celle-ci viendra se mélanger au mortier mou. Les rebonds, ainsi que les pertes, seront limités. La force de projection sera moindre.
Sauf, prescription du fabricant de liant, le dosage sera compris entre de 2 et 2,5 volumes de sable pour un volume de liant. L'épaisseur de la couche ne dépassera pas 8 mm.

La réalisation de l'enduit

Appliquer un mortier en forte épaisseur sur une paroi relève du domaine des gestes techniques du maçon. Le maçon sachant appliquer manuellement un enduit, le dresser, et réaliser des finitions, maîtrisera aisément les enduits à base de mortier de chanvre.
L'application d'une épaisseur d'environ 6 cm de mortier de chanvre se fait en deux couches (ou trois si l'on préfère mais le temps de main d'œuvre est supérieur). Une première couche régulière est appliquée par projection à la truelle. L'applicateur couvre généreusement le mur de façon à obtenir une couche d'environ 3 cm de matière. Pour cette première passe, le mortier n'est pas travaillé sur le mur. Le mortier étant gorgé d'eau, une pression appliquée dessus ferait ressortir l'eau de chaque côté, comme quand on presse une éponge. La pellicule d'eau qui apparaîtrait entre le mur et le mortier, pourrait provoquer le glissement de ce dernier.
Un temps d'attente est nécessaire avant l'application de la deuxième passe. Sur un support absorbant, une demi-journée peut suffire. Sur un support non-absorbant (fermé), la passe suivante doit être appliquée le lendemain, pas avant.

Application première couche d'un enduit chanvre.

Le temps d'attente entre deux passes varie aussi en fonction de la vitesse de prise (ou durcissement) du liant. Certains ont un départ de prise assez rapide. D'autres ont une prise très progressive qui demande plus de temps, mais qui amène un confort de travail à la finition.
L'application de la 2e passe se fait par projection de la même manière que précédemment. Le dressement peut commencer dans la foulée avec différents outils. Plus l'outil est grand, plus il sera facile d'obtenir la planéité d'un panneau.
Tant que le mortier est mou et malléable, l'outil permet de l'aplanir. Au fur et à mesure, de la matière est rapportée pour combler les manques, puis aplanie.

Enduits travaillés en finition

Enduit chaux chanvre qui permet de traiter facilement les arrondis.

Macro d'un enduit intérieur chaux chanvre.

Une fois dressé la surface de l'enduit peut être travaillée en finition.

- **Finition lissée :** après un temps d'attente, un serrage progressif à la lisseuse permet d'obtenir une surface lisse où les trous sont comblés. Il est conseillé de commencer avec une lisseuse assez grande pour ne pas déformer la planéité de la surface (une lisseuse flamande en inox convient très bien), puis, éventuellement de finir avec un outil de taille inférieure qui permet de renforcer le serrage.
- **Finition talochée :** cette finition obtenue par passages répétées d'une taloche avec des mouvements circulaires laisse une surface d'aspect rugueux où le grain apparaît : l'aspect « matière » est privilégié. Une taloche de grande taille sera utilisée au départ, pour finir avec une ou des taloches de plus petites tailles.
- **Finition épongée :** après le talochage exécuté précédemment et dans la même journée, la surface de l'enduit peut être nettoyée à l'éponge. Cela permet de faire ressortir les granulats, qui restent ordonnés. La couleur de la paille sera la teinte dominante.
- **La coloration des enduits :** pour obtenir des enduits colorés, il est inefficace et dispendieux de tenter de colorer les enduits dans la masse. Cela nécessiterait trop de matières colorantes pour des teintes pastel, avec des risques de variations de teinte entre les gâchées. Les chaux (aériennes et à caractère hydrauliques) nous offrent la possibilité de travailler « a fresco ». Les techniques de peintures et de décor à la chaux sont bien connues et tout à fait applicables, d'autant plus que les mortiers de chanvre ont des dosages en chaux importants.
- **Patines et eaux fortes :** coloration sans modification de l'aspect de surface. Avant la carbonatation de la surface de l'enduit, un jus coloré (eau

+ pigment) est appliqué au pinceau, à l'éponge ou au chiffon selon l'aspect recherché. La dilution peut aller de 1% à plus de 35% de poids de colorants par rapport au poids d'eau, à l'unique condition d'une application a fresco. Un test est effectué avec un pinceau humide sur la surface de l'enduit : dès que le pinceau ne marque plus la surface (les traînées de poils ne sont plus apparentes), l'application doit commencer. Il faut considérer que 8 h après l'application de l'enduit, une patine ou une eau forte ne sera plus fixée. Il faudra alors rajouter du liant dans le jus colorant.

- **Badigeons plus ou moins dilués :** de un à cinq volumes d'eau pour un volume de chaux + d'éventuels colorants. Ceux-ci permettent de modifier la couleur, mais également l'aspect de la surface (légèrement). La compatibilité avec le support est parfaite. Il est conseillé d'attendre environ un mois avant de réaliser les badigeons. Dans le principe, l'enduit de chanvre doit sécher au mieux, mais ne pas être complètement sec. Pour une bonne qualité du badigeon, le support doit en effet avoir un peu d'eau en réserve. Une surveillance et une appréciation de l'humidité au toucher permettent de juger du moment opportun. Les badigeons peuvent être réalisés avec des chaux aériennes en pâte où avec d'autres chaux de construction conseillées par les fabricants.

Enduits recouverts par une couche de finition

Recouvrement d'enduit à l'intérieur

A l'intérieur, les enduits en mortier de chanvre peuvent être recouverts d'autres matériaux perméables à la vapeur d'eau. On veillera aussi à ce que ces matériaux de recouvrement soient suffisamment élastiques et n'exercent pas de fortes tractions de retrait.

L'enduit de chanvre uniquement dressé devra présenter une rugosité permettant l'accrochage de la couche de finition à venir.

D'une manière générale, l'enduit de chanvre séchera et durcira, sans recouvrement, mais ne sera pas complètement sec pour recevoir la couche finale. Une surveillance et une appréciation de l'humidité au toucher permettent de juger du moment opportun. Si une réhumidification est nécessaire, elle doit être effectuée à l'avancement de la couche à réaliser.

- **Enduit à la chaux :** une couche de finition en mortier de sable et chaux de construction peut être appliquée en faible épaisseur (de 5 à 8 mm). Pour les enduits à la chaux aérienne (CL ou DL), on se rapportera au chapitre correspondant du DTU 26.1 : enduit exclusivement à la chaux aérienne. Pour l'usage d'autres chaux à caractère hydraulique (NHL, HL ou FL), on se reportera aux prescriptions des fabricants.

Les enduits bâtards « chaux de construction et ciment » sont proscrits. Les mélanges de chaux CL, DL, NHL et ciment prompt sont possibles (selon dosages du chapitre correspondant du DTU 26.1).

Les enduits sont aussi réalisables à partir de mortier performanciel. Dans ce cas, ils devront être adaptés au support, fortement perméants à la vapeur d'eau, et expressément prescrits pour cet usage par le fabricant, qui décrira les conditions et le mode d'application et s'engagera sur les garanties.

- **Enduit de plâtre :** ceux-ci sont tout à fait compatibles avec le support, mais ils doivent rester très perméants à la vapeur d'eau. Ils ne doivent en aucun cas être peints avec des peintures qui oblitéraient cette caractéristique. Mais comme il est difficile de garantir cela à moyen terme, l'usage des plâtres non-décoratifs est vivement déconseillé. En tout état de cause, le plâtre utilisé doit être prescrit par le fabricant pour cette usage.

● **Enduit de terre :** ils présentent une perméance à la vapeur d'eau importante et des caractéristiques mécaniques adaptées au support en mortiers de chanvre. Les enduits réalisés à partir de terres locales seront exécutés conformément au Guide de Bonnes Pratiques Enduit en terre. Les contrôles qualité décrits à l'article 10 seront réalisés.

Les enduits sont aussi réalisables à partir de mortier de terre prêts à l'emploi : ils devront être expressément prescrits pour cet usage par le fabricant qui décrira les conditions et le mode d'application et s'engagera sur les garanties.

Enduit chaux chanvre mur et plafond.

Recouvrement d'enduit à l'extérieur

Les enduits en mortier de chanvre réalisés à l'extérieur seront obligatoirement recouverts par une couche de finition assurant l'imperméabilisation, tout en étant fortement perméante à la vapeur d'eau. Les chaux CL, DL, NHL 2 ne permettent pas d'atteindre cet objectif.
La couche de finition peut être réalisée avec un mortier de recette à base de chaux de construction NHL, HL ou FL , selon un dosage expressément préconisé par le fabricant qui décrira les conditions et le mode d'application et s'engagera sur les garanties.

Elle peut aussi être réalisée avec un mortier performanciel. Il devra être adapté au support, fortement perméant à la vapeur d'eau et expressément prescrit pour cet usage par le fabricant, qui décrira les conditions et le mode d'application et s'engagera sur les garanties.
La couche aura une épaisseur comprise entre 5 et 8 mm.

Dressement sur repères et cueillies.

Si une exigence d'aplomb et de planéité est demandée, les méthodes traditionnelles d'enduit sur cueillie seront appliquées. Des repères d'épaisseur

Le guide est disponible sur le site *https://www.asterre.org/*

en bas de murs seront déterminés. Ils seront réalisés avec un mortier de chanvre dans lequel on pourra incorporer du ciment prompt naturel pour gagner en vitesse de prise. Les aplombs sont ensuite reportés en haut de mur et des taquets d'épaisseurs effectués avec le même mortier. Ensuite, les cueillies sont réalisées avec du mortier de chanvre appliqué derrière une règle carrée (aluminium ou bois). La règle sera enlevée le jour même, après durcissement du mortier. On attendra un durcissement de deux ou trois jours pour réaliser le remplissage des panneaux entre cueillies avec le mortier de chanvre.

Enduit extérieur.

Vue d'ensemble d'une maison entièrement en chanvre ossature bois.

4 - REHABILITATION DES BATIMENTS ANCIENS

Le diagnostic des bâtiments, ouvrages et supports — 79 - 84

- Effectuer un diagnostic
- Les sols des bâtiments anciens
- Les murs anciens
- Les murs anciens et l'isolation

Réhabiliter le bâtiment ancien avec le chanvre — 85 - 87

- Les sols et planchers
- Le remplissage des colombages
- Les enduits chanvre

Claude EICHWALD
Maître d'œuvre en bâtiment et formateur

« Pour des réhabilitations de maisons anciennes à colombage, en Alsace, j'utilise fréquemment le béton de chanvre. Projeté, il permet de renforcer les structures et redonne de l'homogénéité à l'ensemble. Le béton de chanvre se marie très bien avec une ossature en pans de bois car les matériaux partagent un fonctionnement mécaniques et hydrique très proches. Non seulement, les techniques sont complémentaires, mais l'apport d'épaisseurs de béton de chanvre comme isolant permet aussi de corriger des défauts structurels. Un renforcement sans opérations supplémentaires. Une réhabilitation réussie commence nécessairement par un bon diagnostic. Ce chapitre s'ouvre sur les bases pour le réaliser. Il guidera les moyens à mettre en œuvre. Pour bien préparer son projet de réhabilitation il faut : anticiper les points de détails, organiser les interfaces et planifier une bonne programmation des interventions des différents corps d'état. Il faut prendre soin de bien informer avant de coordonner. »

Dès le début du développement des bétons et mortiers de chanvre, les professionnels travaillant sur les bâtiments anciens s'y sont intéressés. Maitrisant les usages des chaux, ils ont regardé ce matériau nouveau sans aucune appréhension.

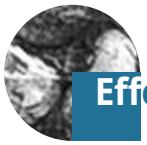
Les bétons de chanvre et le bâti ancien présentent des comportements similaires sur certains aspects :

● **Un fonctionnement hydrique ouvert** : jusqu'à l'apparition récente des ciments, plastiques, résines et autres produits permettant d'imperméabiliser facilement un ouvrage ou une partie de celui-ci, la notion de barrière totale à l'eau n'est pas présente hormis en toiture. Dans les bâtiments anciens, les transferts d'eau sont limités et gérés par des dispositions techniques et architecturales, à l'inverse de la construction contemporaine qui cherche à s'affranchir de l'eau en créant et multipliant les barrières. Ces bâtiments ont cependant démontré leur durabilité. Etant toujours en usage, ils correspondent à l'évidence parfaitement aux besoins physiologiques des êtres humains. Une construction dont les sols, les murs, les planchers sont ouverts aux transferts hydriques, résiste dans le temps et apporte des conditions favorables à la vie humaine. Les bétons et mortiers de chanvre sont ouverts aux transferts hydriques. Ceux-ci permettent des gains thermiques lors des changements d'état de l'eau et procurent une excellente régulation hygrique des ambiances. Un fonctionnement similaire entre les techniques et les matériaux garantit leur compatibilité. De plus, le bon comportement des bois associés aux bétons de chanvre n'implique aucune barrière entre les deux matériaux, il n'y a pas de condensation à la surface des bois mais plutôt une tendance à assécher et préserver ceux-ci. Tous les planchers des bâtiments anciens comportent une ossature bois et la construction à colombages, construction ancienne à ossature bois, est présente partout en France, notamment dans les secteurs densément peuplés.

● **Les constructions anciennes sont basées sur des techniques d'organisation des matériaux ou d'assemblage** : un mur maçonné, quel que soit l'élément qui le constitue (toutes variétés de pierre ou brique) doit sa stabilité à l'organisation des éléments qui le composent plutôt qu'à un collage assuré par le mortier. Les structures de bois assemblées ne sont pas constituées d'éléments collés et/ou contrecollés assurant ainsi une stabilité dimensionnelle. Les deux types de construction ont en commun une souplesse et une déformabilité non négligeables. Les bétons de chanvre ont un module d'élasticité E très faible (+ 30 MPa) : ils sont donc très élastiques. Cette caractéristique leur permet de s'adapter à la souplesse des supports et de ne pas contraindre des supports déjà âgés, parfois fragilisés.

La maitrise de l'usage des chaux, l'adaptabilité des bétons de chanvre et leur compatibilité ont permis de développer des solutions très pertinentes en réhabilitation du bâti ancien.

Le diagnostic
des bâtiments, ouvrages et supports



Effectuer un diagnostic :
les principaux points à observer et analyser

Le bâtiment ancien est un objet complexe incluant de nombreux paramètres :

- diversité et hétérogénéité des matériaux qui le composent,
- diversité et variabilité des techniques de construction et de mise en œuvre, évoluant en fonction des connaissances techniques, des modes et des époques,
- ensemble construit ayant souvent subi des interventions sans lien avec le programme original : il en résulte rajouts, manques et transformations,
- vieillissement et évolution des matériaux sous l'effet des contraintes mécaniques, thermiques ou hydriques. Le vieillissement entraine, dans la plupart des cas, une simple modification des caractéristiques originales, mais parfois des pertes des résistances mécaniques,
- impact de tout ce qui est vivant : utilisateurs bien sûr, mais aussi champignons, insectes, animaux. L'eau nécessaire à la vie des humains favorise aussi toutes les autres formes de vie. Le bâti ancien étant par beaucoup d'aspects un milieu hydrique ouvert, il vit et évolue.

Toute intervention sur un bâtiment ancien devra prendre en compte tous ces paramètres. Un diagnostic est indispensable avant toute intervention. Mais, quel diagnostic faire et de quelle façon ? Il ne s'agit sans doute pas de connaitre de façon exhaustive toute l'histoire de la construction, de maitriser tous les paramètres, toutes leurs interactions et leurs impacts, mais d'être suffisamment averti pour que l'intervention programmée apporte une réponse satisfaisante et soit durable.

Un diagnostic repose sur un constat, une observation globale précise et rigoureuse. Sont observés des phénomènes (par exemple une pièce de bois brisée) et des symptômes (par exemple des traces d'humidité indiquant des remontées capillaires). Une grande vigilance doit être de mise dans l'interprétation des symptômes et dans les raisonnements amenant à déterminer les causes des phénomènes.

La bâti ancien a subit des transformations : il a été adapté.

PRINCIPAUX CONSEILS POUR EFFECTUER UN DIAGNOSTIC CORRECT |

☑ **Différencier la phase « constat » et la phase « analyse et interprétation »**. Seuls des constats neutres et objectifs peuvent amener à des conclusions justes ! Ils permettent d'écarter les préjugés et avis orientés.

☑ **Toujours partir d'un constat global pour se focaliser ensuite sur un point ou un ouvrage qui demandera plus d'attention**. Un bâtiment est situé dans un environnement, subi un climat, est issu de techniques et cultures constructives. L'approche globale permet de situer le bâtiment, d'en apprécier la personnalité, les qualités et les points de faiblesses.

☑ **Faire des observations avec ordre et méthode** : il parait assez logique de faire le tour des extérieurs puis de rentrer à l'intérieur, d'observer de bas en haut sols, murs, plafonds, charpentes et couvertures.

☑ **Être vigilant sur les impacts de l'eau**.

- Porter attention sur l'eau descendante : traces de coulures sur les bois des charpentes et sur les enduits, traces d'humidité en haut des façades, sur les corniches ou le long des descentes de gouttières.
- Repérer les façades ou les endroits mouillés par la pluie : l'observation doit se faire par temps de pluie ou après celle-ci.
- Apprécier l'impact des remontées capillaires : celles-ci sont normales et courantes sur tous les bâtiments construits avant la mise au point de matériaux créant une barrière étanche, techniques se généralisant après le milieu du XX^{e} siècle. De faibles remontées capillaires s'évaporant en pied de mur ne posent pas de problèmes. A l'extérieur, des manifestations de remontées capillaires s'élevant à plus de 80 cm de hauteur, des soubassements présentant des auréoles ou des efflorescences blanchâtres sont les signes de remontées capillaires pathologiques. A l'intérieur, en pied de mur, des traces d'humidité ou de moisissures, des odeurs de moisi, le cloquage ou la dégradation ponctuelle des revêtements, ou la pourriture des plinthes proviennent de remontées capillaires trop importantes ou mal gérées.
- Repérer les effets dus à une mauvaise ventilation ou de mauvais traitements des parements intérieurs : toute occupation par des habitants génèrent des quantités de vapeur d'eau dans les ambiances. Dans son fonctionnement originel, la maison ancienne gère sans problèmes ces amenées de vapeur grâce à une surventilation générale (due aux foyers ouverts et à la faible étanchéité à l'air), un chauffage réduit et des enduits et décors de surface très perméants à la vapeur d'eau. Des modifications plus ou moins récentes peuvent venir oblitérer ce fonctionnement et créer des pathologies : enduits et peintures très peu perméants à la vapeur d'eau, pose de menuiseries étanches à l'air sans conception d'une nouvelle ventilation.

Il faut déterminer la cause des fissures importantes.

☑ **Relever et déceler les défauts mécaniques impactant la structure** :

- fissures dans les maçonneries
- déformations légères, ou prononcées, murs faisant ventre, faux aplombs importants
- état des pièces de charpente et des assemblages entre bois
- interventions précédentes de confortement qui peuvent être suffisantes ou pas… (contrefort, chainages métalliques).

N'émettre un avis qu'après avoir analysé toutes les informations relevées (une fissure est-elle ancienne, vivante, due à un déficit de pluviométrie exceptionnel impactant le terrain, à une intervention malencontreuse récente sur la structure, dangereuse ou sans conséquences ?).

☑ **Ne pas hésiter à faire appel à des personnes ou organismes ayant des compétences avérées**.

La connaissance du bâti ancien, de son fonctionnement, de ses pathologies, des techniques de réhabilitation appropriées ne s'apprend pas du jour au lendemain. Les professionnels ou les organismes spécialisés dans le domaine permettront d'éviter des erreurs :

- les artisans et entreprises spécialisées. C'est leur cœur de métier. Des formations spécifiques existent. Des qualifications et certifications ont été développées par les organismes professionnels en plus des certifications Qualibat « Monuments historiques ».
- les architectes du patrimoine ou les architectes et bureaux d'études ayant de longue date orientés leur activité vers le bâtiment ancien
- les associations agissant pour la sauvegarde et la pérennité du bâti ancien telles que Maisons Paysannes de France, Tiez Breiz ou encore l'Association pour la Sauvegarde de la Maison Alsacienne, proposent des aides techniques sous forme de visites et de conseils.
- les CAUE (Conseil d'architecture, d'urbanisme et de l'environnement) selon les départements. Les Parcs naturels régionaux (PNR) ont bien souvent développé des politiques de préservation et de transmission du bâti ancien. Des collectivités territoriales (communes, pays) peuvent aussi avoir une démarche volontaire de mise en valeur du patrimoine. Toutes ces structures ont en leur sein de véritables spécialistes de ce bâti.
- les services techniques territoriaux du patrimoine bâti (Unités Territoriales de l'Architecture et du Patrimoine).

☑ **Trouver des ressources documentaires** : le site CREBA *http://rehabilitation-bati-ancien.fr/fr* est celui qui dispose du plus large panel d'études, de guides et de documentations.

Vidéo Youtube REBAT BIO : diagnostiquer le bâti ancien
https://www.youtube.com/watch?v=bSHQca2eBBQ

Les sols :
comportements mécaniques et transferts d'humidité

La notion de dalle n'existe pas dans le bâtiment ancien. Le sol en terre battue a pendant très longtemps répondu à tous les usages dans les habitats. Les carrelages en terre cuite et dallages en pierre étaient utilisés quand on en avait les moyens et se sont généralisés à partir du XIXe siècle. Les planchers en bois et les parquets étaient aussi largement répandus. Tous ces revêtements de sol étaient posés sur des couches de nivellement. Les carreaux de terre cuite et pavages de pierres pouvaient être scellés sur des couches de mortier de chaux. Tous ces sols laissent migrer la vapeur d'eau, certains pouvant être capillaires et laisser l'humidité remonter. Ils présentent aussi une relative déformabilité, rendue tolérable par l'absence de joints rigides.

Tous les traitements contemporains de réhabilitation des sols oblitèrent la capacité des sols à évacuer l'humidité sous-jacente sous l'emprise de la construction. Inexorablement, la pression capillaire se reportera vers les murs et les revêtements appliqués sur ceux-ci vont en souffrir. Une réhabilitation des murs ne peut se faire sans traiter les sources d'humidité en provenance des sols. La réalisation d'un hérisson ventilé est quasi incontournable (un espace faisant fonction de vide sanitaire ventilé correspond à la même réponse technique). En son absence, il faudra étudier l'opportunité de réaliser un drainage extérieur, pouvant être complété par un drainage à l'intérieur.

Vidéo Youtube REBAT BIO : réaliser un hérisson ventilé
https://www.youtube.com/watch?v=dtkpDcW9V3c

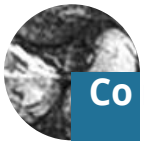
Sol ancien, posé sur terre-plein, sans dalle.

Hérisson ou empierrement ventilé.

Les murs :
comportements mécaniques et transferts d'humidité

Comme énoncé en début de chapitre, les murs maçonnés sont relativement souples. Les éléments qui le composent ont des comportements à l'eau variables. Les granites sont très peu capillaires et non-hydroscopiques contrairement aux calcaires tendres de type tuffeau et aux briques. Les mortiers utilisés (à base de terre, sables plus ou moins terreux et chaux) ont tous la capacité d'admettre et de véhiculer des quantités d'eau. Cette caractéristique se retrouve donc dans tous les murs anciens. Les enduits extérieurs et intérieurs ont aussi cette caractéristique : ils se mouillent et sèchent. Ils ont aussi une forte perméance à la vapeur d'eau. Le mur ancien est par conséquent un milieu ouvert aux transferts hydriques, à l'état liquide ou vapeur. Certes, selon leurs conditions hydriques, leurs performances mécaniques et thermiques pourront varier, mais leur durabilité permet d'affirmer qu'un état d'équilibre s'installe.
La modification des revêtements de surface peut avoir des effets dévastateurs si cet équilibre est modifié : les enduits composés de ciment appliqués depuis 50 ans et autres revêtements étanches ont montré leur inadéquation.
L'application d'une épaisseur de béton ou mortier de chanvre ne modifie pas le fonctionnement hydrique du mur sur la face où il est appliqué, encore faut-il que l'autre face fonctionne correctement.

Pathologie due aux remontées capillaires et enduit inadapté.



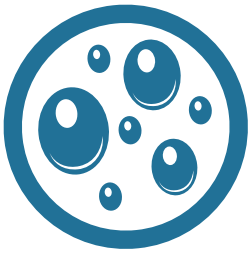
Comportements hygrothermiques des murs anciens
et effets de l'isolation

Les murs anciens trouvent un état d'équilibre hydrique qui n'est pas sans impacts sur leur performance thermique et inversement : on parle même d'un état d'équilibre thermohydrique. Les murs contiennent de la vapeur d'eau et leurs faces sont exposées à des ambiances différentes (température et pression de vapeur d'eau). La vapeur d'eau migrera, pourra condenser en fonction des écarts de température. L'eau à l'état liquide migrera grâce à la forte capillarité des matériaux et pourra s'évaporer. Les changements d'état seront accompagnés de dégagement ou d'absorption de calories qui participeront au comportement thermique des murs anciens.
Toute action d'isolation aura un impact sur le fonctionnement thermohydrique de la paroi. Les études le mettent en évidence (Hygroba – Rapport Rage évaluation des risques de pathologies liées à l'humidité… Rénovation) et les documents de référence l'admettent (Guide Rage Isolation thermique

par l'intérieur Rénovation).
Dans le cas d'un mur ancien isolé par l'extérieur, « *la paroi structurelle est mise « au chaud », ce qui résout la plupart des problématiques liées à la physique du bâtiment* » extrait d'étude citée. L'étude Hygroba conclut à l'absence de risques liés à l'humidité avec une ITE perméante à la vapeur d'eau.
Dans le cas d'un mur ancien isolé de l'intérieur, celui-ci se retrouvant au froid, les impacts liés aux variations de température (dont les dilatations) sont plus forts. Le point de rosée est déplacé vers la face interne du mur et la capacité de séchage peut se trouver oblitérée. Les quantités d'eau pourront augmenter avec un impact négatif sur les résistances mécaniques.
L'isolation d'un mur ancien par l'intérieur ne doit donc se faire qu'après une analyse précise de l'augmentation des risques liés à l'opération. Des travaux connexes seront sans doute à envisager (enduit des façades, gestion des remontées capillaires). Le Guide Rage Isolation Thermique par l'intérieur en Rénovation précise au chapitre 8.2.5. Cas particulier des murs affectés par les remontées capillaires : « *les murs devront être traités préalablement à la mise en œuvre de l'isolation thermique.* »
L'étude Hygroba conclut quel que soit le type de support : « *Dans le cas d'une isolation par l'intérieur, les configurations perméables à la vapeur d'eau et capillaires (au moins sur une face, si ce n'est sur les deux) sont à privilégier.* »
Les solutions à base de béton ou de mortier de chanvre possèdent les deux caractéristiques et permettent une réelle continuité capillaire entre le mur et le matériau rapporté.

COMPORTEMENT HYGROTHERMIQUE D'UN MUR EXTÉRIEUR ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR. |

L'isolation par l'extérieur est en général la meilleure solution pour traiter thermiquement une paroi extérieure. //
La situation s'inverse dans le cas d'une ITI : le mur est plus froid et plus humide en hiver suite à l'intervention. Il subit alors de grands changements de température au cours d'année et est toujours soumis aux influences des intempéries. En hiver, le point de rosée est souvent atteint à l'interface entre l'isolant et le mur. // La possibilité de séchage du mur vers l'intérieur est également réduite par l'ITI. Elle est pourtant indispensable si le mur est soumis à des risques d'humidité
Extrait de : Règles de l'Art Grenelle Environnement – Rapport : évaluation des risques de pathologies liées à l'humidité au niveau des poutres encastrées dans un mur extérieur isolé par l'intérieur.



Réhabiliter le bâti ancien avec le chanvre

Plancher et sols sur élément porteur

Redresser un plancher ancien est une exigence fréquente (défaut d'horizontalité, courbures de bois). Le béton de chanvre amène une réponse très pertinente :

- il est très léger.
- il amène une bonne répartition des charges.
- il est plus élastique que les structures en bois.

Celles-ci ne seront pas contraintes structurellement.

Remplissage de colombage

Un bon matériau pour le remplissage de colombages anciens doit « travailler » avec le bois sous peine de fissurer, et ne doit pas bloquer l'humidité dans le bois.

- Les bétons de chanvres sont très légers.
- Ils sont plus élastiques que les structures bois : celles-ci ne seront pas contraintes structurellement. Ils sont aptes à supporter les dilatations et contraintes d'une ossature en bois (structurellement en bon état).
- Plus hydroscopiques et capillaires que les bois de construction, ils auront tendance à les assécher et à leur amener de bonnes conditions de préservation.

Maison restaurée avec du chanvre (20 km de Strasbourg) - label BBC.

Enduits à caractère thermique et décoratif

Ce n'est pas un « véritable isolant » : pour une épaisseur de 5 cm, la meilleure performance parmi les couples validés sera d'un apport de R=0,36. Pour mémoire, selon la RT Ex, la valeur seuil à atteindre pour les murs (ne concerne que le bâti post 1948) est R=2.9 mur +isolant.

Pour autant, la réduction des pertes n'est pas négligeable. Une paroi en briques de 33 cm d'épaisseur aura un coefficient de transmission thermique U = 1.82 W. m².K. Cette paroi recouverte d'un enduit de mortier de chanvre de 5 cm d'épaisseur aura un U de 1.09 W.m².K. Les déperditions calorifiques auront diminué de 40%.

Un enduit de mortier de chanvre appliqué sur un mur ancien ne présente aucun risque d'un point de vue hydrothermique : la capacité de séchage ne sera pas oblitérée et le point de rosée ne sera pas déplacé vers la face intérieure.

Un enduit de mortier de chanvre a une faible effusivité. Les murs anciens constitués de matériaux lourds procurent généralement une sensation de paroi froide, les rendant inconfortables. Les enduits en mortier de chanvre permettent de corriger cet effet, améliorant le confort et générant donc des économies. La capacité de régulation de la vapeur d'eau participe aussi à cette amélioration du confort des ambiances.

Les temps de main d'œuvre pour réaliser des enduits épais en mortier de chanvre (5 à 6 cm) sont quasiment les mêmes que ceux nécessaires pour un enduit traditionnel en deux ou trois couches, avec un travail de finition simple (taloché ou lissé). Pour un surplus de 20 à 30 €, la réalisation d'un enduit en mortier de chanvre (à la place d'une réfection d'un enduit) apportera une finition décorative, une réduction des déperditions thermiques, un effacement de l'effet paroi froide et une garantie de ne pas porter tort au fonctionnement thermohydrique du mur.

Les enduits en mortier de chanvre, surtout s'ils sont travaillés en finition, amènent une réponse atypique et extrêmement pertinente dans les opérations de réhabilitation de l'habitat ancien.

5 - MISES EN OEUVRE SECHES

Les blocs de chanvre — 91 - 96

- Description et domaine d'emploi
- Mise en œuvre
- Recouvrements et finitons
- La réglementation
- Les blocs à maçonner
- Les blocs à emboitement

La préfabrication de grands éléments — 97 - 103

- Description et domaine d'emploi
- Chantier préfabrication extension Maison d'habitation Acigné
- Chantier préfabrication Les Sables d'Olonne
- Chantier préfabrication Triballat

Quentin PICHON
Ingénieur ETP, architecte HMONP et formateur

« Nous avons conçu et accompagné la réalisation de trois chantiers avec préfabrication de panneaux remplis de béton de chanvre. Le développement des techniques de préfabrication mises en œuvre sur les projets nous ont permis d'améliorer le confort sur chantier des équipes de pose, d'optimiser le calendrier des travaux et de diminuer les nuisances sur chantier en externalisant la projection du béton de chanvre en atelier. Mais surtout, la voie sèche a permis de démocratiser l'emploi du béton de chanvre sur des projets de grandes ampleurs. »

La préfabrication de petits et grands éléments en béton de chanvre est connue depuis le début des années 2000. Comme pour le béton de chanvre projeté et banché, ces produits sont constitués de granulat de chanvre mélangé à un liant minéral adapté. Les solutions préfabriquées permettent une meilleure gestion du chantier en réduisant les temps de réalisation. Le séchage des éléments en béton de chanvre étant maîtrisé et contrôlé en atelier, les produits sont livrés secs, réduisant ainsi le délai de mise en œuvre des recouvrements et finitions.

Diverses solutions répondent à différents modes constructifs et typologies de chantier.

- Les blocs isolants à maçonner en béton de chanvre permettent le remplissage de structure porteuse poteaux-poutres, ainsi que l'isolation thermique intérieure et extérieur du bâtiment existant ou la réalisation de cloisons de séparation.
- Des blocs à emboîtement associés à une ossature béton noyée, complètent l'offre en construction neuve
- Les panneaux structurels en béton ou en bois avec une isolation intégrée en béton de chanvre offrent des solutions constructives pour la réalisation de bâtiments neufs.

Construction Blocs de chanvre à emboîtement.

Les blocs de chanvre

Description et domaine d'emploi

Le bloc de chanvre est un élément de maçonnerie autoportante sans rôle structurel, composé d'un mélange optimisé de liant minéral et de granulat de chanvre. Les blocs sont moulés à froid et puis séchés à l'air libre.
La qualité des performances des blocs de chanvre est garantie par le fabricant à travers à un processus industriel optimisé et un suivi de la qualité du produit fini.
Les performances thermiques et hygrothermiques des blocs de chanvre sont équivalentes à celles du béton de chanvre mis en œuvre sur chantier.
Le pressage industriel permet, entre autres, de réduire le dosage de liant par rapport à une solution coulée ou projeté sur place. Malgré un plus faible dosage en liant, les blocs de chanvre commercialisés en France ont des résistances mécaniques à la compression supérieures au limites fixés par les règles professionnelles de Construire en Chanvre pour le doublage des murs (Rc > 0,2 MPa)

Dans le commerce, on retrouve généralement des blocs de dimension 60 cm x 30 cm avec des épaisseurs comprises entre 6 cm et 36 cm. Ces blocs peuvent être à emboîtement (montage sans colle) ou maçonnés.

Comme pour le béton de chanvre projeté ou banché, les blocs de chanvre sont destinés à tout type de projets de rénovation et de construction neuve :

- Enveloppes isolantes
- Cloisons
- Doublage intérieur et extérieurs
- Isolation de toiture et des sols

Ils peuvent être utilisés seuls ou en combinaison avec un autre isolant thermique en fonction des exigences du projet.
Avec une densité d'environ 300 kg/m3, les blocs de chanvre ne dépassent pas 20 kg, et permettent une mise en œuvre efficace et sans pénibilité.

Mise en œuvre

Le découpage des blocs de chanvre est facilement réalisé à l'aide d'une scie égoïne électrique (type scie « alligator ») ou manuelle à matériau. Une scie à ruban permettra de réaliser des découpes arrondies. Les saignées pour les réseaux techniques et l'encastrement des boitiers électriques sont réalisées facilement avec une rainureuse et une scie cloche.

La pose des blocs de chanvre à maçonner est toujours réalisée à l'aide d'un mortier spécialement formulé et préconisé par le fabricant. Le premier rang devra être posé sur une arase de soubassement sèche, propre et plane. Une couche de mortier de 1 à 2 cm sera étalée sur toute la surface pour assurer un alignement et un aplomb corrects des blocs.

Les ouvrages en blocs de chanvre maçonnés doivent être liés à la structure portante par fixation mécanique. Pour les doublages, la fixation est réalisée mécaniquement par des accessoires de liaison ou par collage si la maçonnerie est homogène et la planimétrie des murs le permet.
Les fabricants ont conçu toute une gamme d'accessoires pour répondre à de nombreuses applications : équerres de pose ou de liaison, chevilles de liaison à frapper, chevilles avec rosaces. Des supports spécifiques (équerres, cornières ou profils) permettent le départ des isolations extérieures avec une garde au sol.

Afin de supprimer les ponts thermiques au niveau des ouvertures, les fabricants proposent aussi des linteaux en béton armé isolés en béton de chanvre et adaptés aux diverses largeurs de baie. Les linteaux en béton de chanvre permettent d'uniformiser la façade et de simplifier la mise en œuvre de l'enduit. Ces éléments seront choisis en fonction des dimensions de la baie et de la charge à supporter.

Doublage isolant en blocs de chanvre.

Fixation de doublage en blocs de chanvre avec chevilles pour isolants.

Recouvrements et finitions

En intérieur, toutes les finitions admises sur les bétons de chanvre banchés ou projetés sont réalisables. Les enduits avec des matériaux ayant une forte perméance à la vapeur d'eau sont à privilégier : enduit de terre, mortier de chaux, enduit en plâtre. La finition peut aussi être réalisée avec un enduit performanciel uniquement si celui-ci est préconisé expressément pour un usage sur béton de chanvre. Une finition par panneau peut être nécessaire notamment dans les pièces recevant des projections d'eau : suivre les conseils du fabricant de bloc pour la mise en œuvre des panneaux. On veillera cependant à laisser toujours une face du mur ouverte aux transferts de vapeur d'eau.

A l'extérieur, les mêmes finitions que pour un mur en béton de chanvre (banché ou projeté) pourront être réalisées :

- Enduits à la chaux de recettes ayant les caractéristiques suivantes : imperméabilité à l'eau, forte perméance à la vapeur d'eau.
- Enduits performanciels préconisés expressément par les fabricants, réalisés en deux couches. L'humidification de la surface sera nécessaire avant mise en œuvre de l'enduit.
- Bardages réalisés conformément à la norme NF DTU 41.2 avec la pose d'un pare-pluie HPV.
- Autres finitions en pierre naturelle ou briques collées, si leur cahier des charges le permet (se renseigner auprès des fabricants de blocs et de mortiers colles).

La réglementation

Les blocs maçonnés ou à emboitement ne rentrent pas dans les prescriptions des règles professionnelles de Construire en Chanvre. Chaque industriel est responsable du suivi du contrôle qualité et de la certification des performances des blocs commercialisés.

Les fabricants préconisent des enduits minéraux de recettes à base de chaux ou performanciels en précisant leur classe, (pour les revêtements extérieurs) et les différentes typologies de finition (pour le revêtement intérieur). Grâce à des tests (arrachement, vieillissement) ou des retours d'expérience, le fabricant de blocs garantit la nature et la performance des supports qui ne peuvent être montés qu'avec des mortiers spécifiques préconisés.

Les blocs à maçonner

Les produits

Différents fabricants, français et européens, de bloc de chanvre à maçonner proposent des produits très similaires dans leurs performances et qualité. Les performances et les dimensions disponibles sur le marché sont détaillées dans tableau ci-dessous.

Dimensions standard	600 x 300 mm
Epaisseurs	De 60 mm à 360 mm
Conductivité thermique	De 0,065 à 0,07 W/m.K
Masse volumique sèche	De 300 à 360 kg/m^3
Résistance à la vapeur d'eau	μ<3

En 2020, en France sont distribués des blocs en provenance de trois fabricants :

- CHANVRIBLOC en Isère fabrique des blocs de chanvre depuis 2006.

- VIEILLE MATERIAUX à Besançon fabrique et commercialise depuis 2018 des blocs à maçonner en complément de la fabrication des blocs à emboitement.

- ISOHEMP, fabricant belge, commercialise des blocs en France depuis 2014 et a obtenu pour ceux-ci un agrément technique national par l'UBATc (Union Belge pour l'Agrément Technique de la Construction).

ÉPAISSEUR EN CM	CHANVRIBLOC	ISOHEMP	VIEILLE MATÉRIAUX
6			
9			
10			
12			
15			
20			
25			
30			
36			

Remplir des panneaux au sein d'une ossature porteuse

Les blocs de chanvre représentent une solution constructive de remplissage de structures porteuses en poteaux et en poutres de béton, bois ou métalliques. Les différentes épaisseurs des blocs proposées permettent de répondre aux divers besoins et enjeux de la réglementation et du confort thermique.
Le remplissage peut se faire entre les pièces d'ossature en alliant des blocs de deux épaisseurs : montage de blocs épais (>20 cm) entre montants et poutres et rajout d'une épaisseur de blocs de plus faible épaisseur (généralement < 10 cm) couvrant la totalité de la structure et évitant les ponts thermiques. Il est aussi possible d'associer les blocs de chanvre avec d'autres isolants souples ou en vrac. En ce cas, les isolants souples sont utilisés pour le remplissage entre les poteaux, et les blocs de chanvre en doublage intérieur et extérieur.

Le remplissage peut se faire aussi en dehors de la structure. Ceci permet de constituer une couche de matériaux isolants ininterrompue. Généralement la structure porteuse, qui comprend aussi les fixations de baies, est déportée à l'intérieur.

Réaliser des doublages

Les blocs en béton de chanvre constituent une solution adaptée pour la réalisation de doublage isolant de murs neufs et anciens, aussi bien en intérieur qu'à l'extérieur. Ils doivent être liés aux supports par fixation mécanique ou collage selon les prescriptions du fabricant de blocs.
En extérieur, une garde au sol est à prévoir : comme pour les autres utilisations du béton de chanvre, elle sera de 20 cm. Les blocs peuvent être posés sur un support imputrescible (blocs, silico-calcaires, verre cellulaire) complété d'une barrière d'étanchéité, ou démarrer sur des profils métalliques adéquats. Ces accessoires ainsi que des moyens de fixations sont proposés par les fabricants.

Le doublage en bloc de béton de chanvre est parfaitement adapté à la rénovation du bâti ancien. Dans le cas d'une maçonnerie ancienne présentant un fort faux aplomb, un remplissage avec un béton de chanvre réalisé sur chantier, sera effectué en respectant les exigences des règles professionnelles. Sa réalisation se fera à l'avancement du montage du mur en veillant à sa stabilité et à un liaisonnement correct à la paroi support.
Les blocs isolants de chanvre peuvent aussi être utilisés pour améliorer la performance acoustique entre deux locaux. Une contre-cloison peut être montée seule ou avec une interposition d'un isolant souple entre le mur et la contre-cloison, pour apporter un confort acoustique optimal.

Cloisonner

Les murs intérieurs et les cloisons peuvent être montés en bloc de bétons de chanvre : ils apportent de l'inertie et permettent un affaiblissement acoustique. Ils sont solidarisés aux parois latérales et aux planchers par des fixations mécaniques. Il est préférable de prolonger les montants des huisseries jusqu'aux planchers hauts afin d'éviter les tractions sur les cloisons.
Pour renforcer l'affaiblissement acoustique, les cloisons seront constituées de deux parois en blocs de chanvre entre lesquelles une épaisseur d'isolant souple sera intégrée.

Les blocs à emboitement

Les blocs à emboitement sont conçus sur le principe tenons/mortaises. Chaque bloc possède deux faces avec une rainure centrale et deux faces avec un noyau central saillant. Les dimensions des parties saillantes étant égales à celles des parties en creux, l'emboitement se fait horizontalement et verticalement. Le montage se fait à sec, sans mortier, ni colle.

En 2020, en France, le groupe Vieille Matériaux commercialise une gamme de blocs à emboitement, de 30 cm de largeur, permettant de réaliser une construction en blocs avec une structure poteaux-poutres à couler, constituant un système constructif à part entière.

Les blocs sont autoportants et non structurels. Les descentes des charges sont assurées par la structure en béton qui sera coulée dans des blocs spécifiques. Le procédé constructif à bloc d'emboitement est complété par une semelle de départ constituée de blocs préfabriqués en béton. La première rangée de blocs est montée par emboitement sur les semelles de départ à l'aide d'un lit de mortier.

Ce système constructif permet de répondre aux exigences de la réglementation thermique actuelle. Il présente de forts intérêts pour un bon niveau de performance dans le cadre de la future réglementation environnementale, ainsi que pour le marché de la maison individuelle et du petit collectif. Le système s'adapte aussi à la réhabilitation des bâtiments existants pour la réalisation d'extensions et de surélévations.

Il est destiné à la réalisation de murs de façades de bâtiments jusqu'à R+4, comportant des étages de hauteur inférieure à 2,92 m et situés en zone sismique 1 à 4. Pour des bâtiments au-delà de R+2, il sera nécessaire de se rapprocher des fabricants. En effet, le procédé de montage à emboitement ou maçonné peut également être utilisé en remplissage associé à une structure en poteaux-poutres dimensionnée selon les règles des Eurocodes.

La résistance thermique R de 4,2 (m².k)/W des parois nues, de 30 cm d'épaisseur, est obtenue grâce à un lambda de 0,071 W/(m.k). Les coefficients de déperdition linéiques des ponts thermiques au niveau du plancher et des poteaux respectent les exigences de la RT2012. Au niveau acoustique, une paroi avec enduit extérieur et intérieure permet un excellent isolement contre les bruits extérieurs (Rw : 43 (-1 ;-2) dB).

La finition extérieure sera réalisée avec un enduit riche en chaux conforme aux préconisations du fabricant ou de l'Avis Technique. La mise en œuvre de l'enduit devra être réalisée en deux passes successives avec marouflage d'une armature ou d'un treillis en fibres de verre dans le corps d'enduit.

Les entreprises désirant mettre en œuvre cette technique devront être formées et accompagnées par le fabricant lors de leur premier chantier.

Les panneaux préfabriqués en chanvre

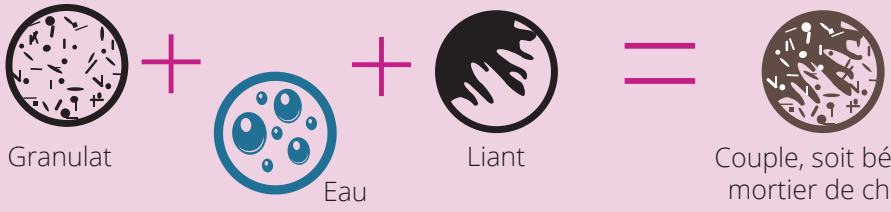
Description et domaine d'emploi

De tailles diverses suivant les projets, les panneaux préfabriqués de chanvre restent non porteurs, comme un béton de chanvre classique. En atelier, chaque module est rempli à plat dans un cadre et un panneau plein en fond de coffrage. Il peut intégrer toute les éléments technique (réseaux, électricité...) et ainsi que les ouvertures (voir schéma). Ces modules sèchent en atelier avant d'être transportés et mis en œuvre sur chantier. Levés et posés comme tous modules préfabriqués, ils permettent de clore rapidement un bâtiment. Pour exemple, les bureaux de l'entreprise Triballat présentés ci-après ont été fermés en moins de 10 jours par 32 modules représentant 600 m^2 de surface. Il ne reste plus qu'à enduire ou apporter la finition perspirante souhaitée pour garder les qualités du béton de chanvre déjà développées précédemment.

Les performances thermiques et hygrothermiques des murs préfabriqués en chanvre sont équivalentes à celles du béton de chanvre mis en œuvre par projection ou banchage.
Particulièrement adaptée aux chantiers de grande ampleur afin de construire vite et écologique, la préfabrication de panneaux de chanvre peut convenir à tous types de bâtiment. Si les premiers immeubles tertiaires préfabriqués en chanvre local datent de 2017/18, fin 2020 la première usine de préfabrication verra le jour en Ile de France avec le soutien de la Région éponyme. L'objectif est de répondre aux grands chantiers (types Villages olympiques) avec un outil de production utilisant un granulat végétal, local et renouvelable. Cette initiative de construction en circuit court pourra se multiplier en régions suivant les besoins.

RESPECT « LABEL GRANULAT CHANVRE » ET DES COUPLES VALIDES |

La qualité des panneaux préfabriqués en chanvre est garantie dans le cadre de règles professionnelles, si la chènevotte est bien sous « Label granulat chanvre » et que le couple liant/granulat est respecté. La préfabrication en chanvre peut être utilisée en mur ou sous toiture avec des ratios liant/granulat adaptés.



EXTENSION D'UNE MAISON D'HABITATION À ACIGNÉ (ILE-ET-VILAINE)

- Architecte CAN IA
- Réalisation des ouvrages en chanvre : LB Eco Habitat
- Trois mois et demi de travaux en 2016
- Pièce supplémentaire ajoutée à l'habitation d'origine pour accueillir un spa
- 12 m³ de chanvre pour le remplissage des murs auquel s'ajoute le chanvre utilisé pour les 30 m² d'enduits intérieurs.

TECHNIQUE DE MISE EN ŒUVRE

Nature de l'ouvrage : murs

Composition de la paroi de l'extérieur vers l'intérieur :

- Enduit minéral fin spécial ITE
- Panneaux de fibre de bois épaisseur 80 mm
- Mur de chanvre incluant ossature 145 x 45- 23 cm épaisseur
- Enduit chaux chanvre 3 cm

Performances R du mur : 5.03 m2W/K (mur seul)

R du toit : 5.36 m2W/K

PREFABRICATION DU BETON DE CHANVRE

Préfabrication des panneaux avec ossature bois en atelier, par un charpentier en section 145/45.

- Fabrication en atelier avec un malaxeur planétaire de débit de 2 m³/heure -7 panneaux
- Stockage des panneaux pour séchage pendant 3 semaines
- Mise en place sur chantier et réalisation des enduits extérieurs après 2 semaines

DETAILS CONSTRUCTIFS

Détail des fixations de panneaux sur la dalle

- Réservation par éléments amovibles
- Fixation par équerre métallique entre dallage et panneaux
- Rebouchage postérieur avec béton de chanvre
- Calfeutrement des menuiseries

Détail réservation pour menuiserie + coffre de volet roulant

- Réservation
- Gaine électrique pour motorisation volet roulant

LES SABLES D'OLONNE

- Base logistique pour la collecte des déchets de l'agglomération
- Comprend un atelier de 570 m² et 374 m² de bureaux
- Construite sur 2018-2019
- Huit mois de travaux
- 70 m³ de béton de chanvre
- Isolation en laine de chanvre-coton-lin

TECHNIQUE DE MISE EN ŒUVRE

Panneau préfabriqué bois/béton de chanvre

20 cm de béton de chanvre coffré par 80 mm ou 120 mm de fibre de bois rigide

Finition intérieure enduite ou plaquée fermacell sur ossature secondaire

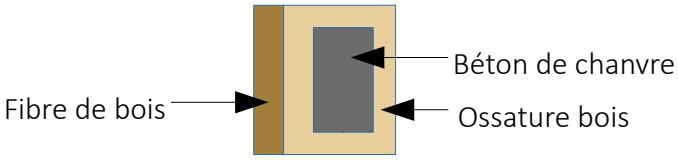
Performances : RT2012 -20%

PREFABRICATION DU BETON DE CHANVRE

Le béton de chanvre a été réalisé à l'aide de toupies et déversé dans les panneaux disposés au sol. La préfabrication a été réalisée en deux jours avec le contenu de huit camions toupies.

Les panneaux ont été stockés à plat et empilés sur trois hauteurs pour libérer l'espace.
La réalisation fin juillet avant la fermeture de l'atelier a permis un séchage de quatre semaines.
Gros point de vigilance : la ventilation des deux faces des panneaux pendant leur séchage.

Les murs de la partie bureaux sont composés de panneaux dont la composition est la suivante :



DETAILS CONSTRUCTIFS

Contreventement assuré par contre portique et non pas dans le mur à ossature bois

LOCAUX DE L'ENTREPRISE TRIBALLAT (ILE-ET-VILAINE)

- Construits sur 2017-2018
- Douze mois de travaux
- Bureaux pour les services informatique et QSE (qualité sécurité environnement)
- 200 m³ de béton de chanvre en préfabriqué pour les murs et une partie de la toiture
- Isolation en laine de chanvre-coton-lin

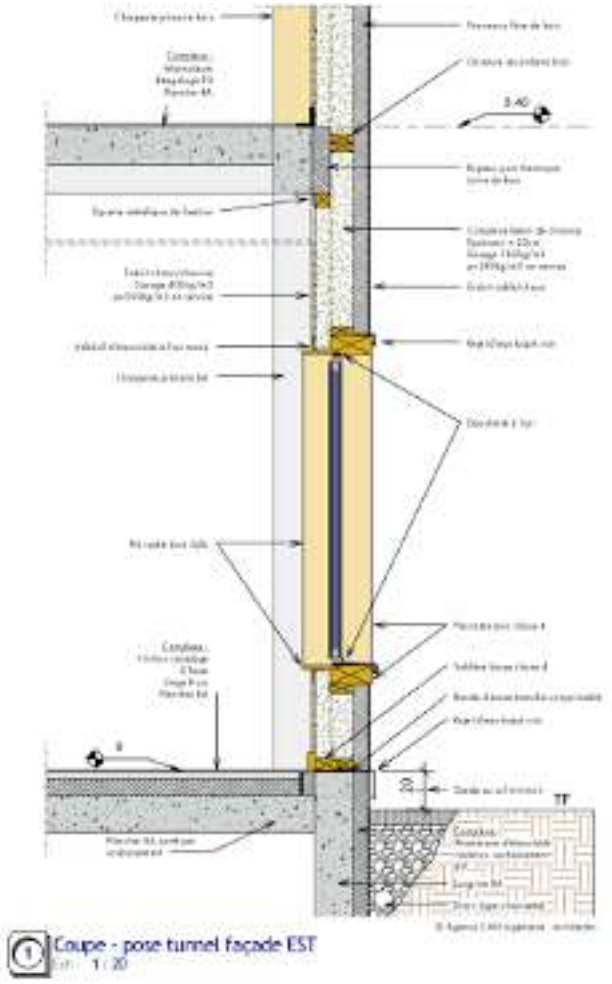
TECHNIQUE DE MISE EN ŒUVRE

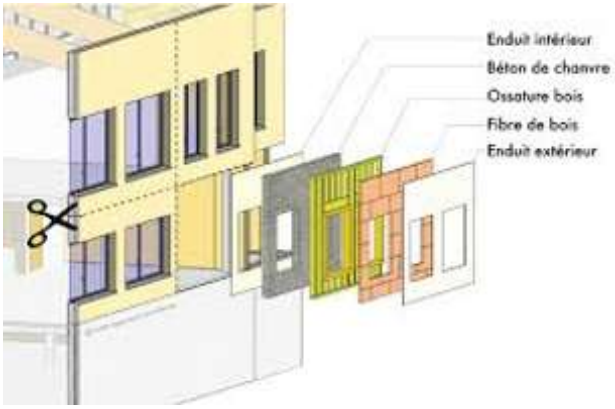
Panneau préfabriqué bois/béton de chanvre

Paroi de 20 cm de béton de chanvre (λ= 0,076), coffré par 80 mm ou 120 mm de laine de bois rigide (λ=0,04).

Finition intérieure enduite ou plaquée fermacell sur ossature secondaire

Performances : RT2012 -40%





PREFABRICATION DU BETON DE CHANVRE

Christophe Lubert de LB Habitat a réalisé les panneaux préfabriqués en béton de chanvre.
Tous les réseaux électriques passant en périphérie du bâtiment ont été noyés dans le béton de chanvre et fixés à l'ossature bois. Ces réseaux sont principalement destinés aux stores extérieurs et éclairages extérieurs ainsi qu'à certaines prises intérieures. Il avait été fait le choix de passer le plus possibles de réseaux dans le cloisonnement intérieur afin de minimiser les boitiers dans les enduits.

DETAILS CONSTRUCTIFS

Contreventement assuré par contre portique par des voiles en béton armé placées autour de la cage d'escalier, à l'extrémité sud ainsi que pour tout le mur nord réalisé en agglo de ciment.

6 - PRESCRIPTIONS GENERALES DE TOUTES LES MISES EN OEUVRE DU BETON ET MORTIER DE CHANVRE

La réception des supports ____ 106

Avant la mise en œuvre du béton de chanvre ____ 107 - 110
- Les conditions de travail et de sécurité
- Les interactions entre corps d'état (par type d'ouvrage et mode de mise en œuvre)
- La gestion des déchets de chantier

Après la mise en œuvre du béton de chanvre ____ 111 - 112
- La livraison des ouvrages et la réception des travaux
- Les conseils et informations après travaux

Daniel BAYOL
Bureau d'étude en maîtrise d'œuvre spécialisé en chanvre

« Pour mes chantiers avec du béton de chanvre, je propose à mes clients deux missions : Une première mission de conception qui porte l'objectif de définir, ensemble, un projet cohérent en adéquation avec leurs envies et leurs moyens. Une mission d'accompagnement et de conseil lors de la réalisation : le projet étant détaillé, la spécificité chanvre et les détails constructifs sont anticipés. Le planning intègre dès le départ toutes les contraintes liées au chanvre. L'entreprise qui met en œuvre le chanvre est bien sûr qualifiée et si dans les autres lots, une entreprise retenue est confrontée pour une première fois au chanvre, je fais un véritable de travail d'accompagnement pour assurer le bon tuilage des différents corps de métier. Un chantier se déroule bien quand tout le monde est sensibilisé au chanvre ! »

La réception des supports

Une entreprise doit, avant d'entreprendre des travaux, apprécier si les supports sont aptes à recevoir son ouvrage. Si elle les estime inacceptables, elle doit en informer le maître de l'ouvrage ou son représentant. L'absence de réserves vaut acceptation. L'entreprise peut voir sa responsabilité engagée si elle réalise ses travaux sur des supports non conformes.

Les supports seront conformes si la réalisation des ouvrages en chanvre est bien anticipée par tous les acteurs du projet. Dans la phase préparatoire, l'entreprise doit veiller à ce que les Règles professionnelles et autres contraintes liées au chanvre soient bien prises en compte. Un écrit n'est jamais superflu.

La réception des supports se fait en présence du maitre d'ouvrage ou de son représentant, et éventuellement en présence des représentants des corps d'état ayant réalisé les supports. L'entreprise peut préparer une fiche de réception en s'inspirant des fiches types disponibles auprès des organismes professionnels.

EXEMPLE |
Pour un mur avec une ossature, outre le respect des enrobages d'ossature, l'entreprise doit vérifier le taux d'humidité du bois, la hauteur du soubassement, son imperméabilité, l'accessibilité de toutes les zones au remplissage ou à la projection.

Avant la mise en oeuvre du béton de chanvre

Les conditions de travail et de sécurité

Le développement durable sans une attention portée aux hommes et à leur environnement de chantier n'a aucun sens. Nous devons porter l'image d'une filière éco-responsable : cela inclut la considération pour les travailleurs.

PROTECTION INDIVIDUELLES |

Dans un chantier, les risques de se cogner la tête sont aussi fréquents que ceux de se blesser aux pieds : se protéger la tête est donc aussi important, si ce n'est plus, que de se protéger les pieds.
Les liants utilisés sont très basiques et très volatils : **portez des lunettes, des masques, des gants ou protégez-vous les mains avec des crèmes protectrices**.
Un chantier est un environnement pouvant être bruyant : protégez-vous aussi les oreilles.
Lors de l'utilisation de matériel électrique ou d'outillages motorisés, n'enlevez pas les protections et respectez les règles de sécurité.
Portez les EPI : casque, gants, lunettes, protections auditives, masques anti-poussières, chaussures de sécurité.

ORGANISATION DE CHANTIER |

Terrains encombrés, cheminements malaisés = autant de risques de chutes ou d'accident. Un chantier mal organisé deviendra un chantier non-rentable ! Non !
L'organisation participe à la qualité de notre travail :

- **prévoyez et respectez les zones de déchargement, de stockage, de circulation**,
- **une matière bien stockée** (protégée des intempéries grâce à une bâche) **restera une matière de qualité**. Les pertes seront diminuées.

Les bétons de chanvre sont des matériaux de haute qualité environnementale. Une haute qualité doit également être au rendez-vous sur les chantiers les mettant en œuvre, notamment en termes de conditions de travail, d'organisation...

INFOGRAPHIE

L'écologie prend soin de la terre et des êtres humains ! La filière chanvre : une filière éco-responsable ! La filière chanvre porte une attention particulière à ses travailleurs !

Les interactions entre corps d'état (par type d'ouvrage et mode de mise en œuvre)

Les bétons et mortiers de chanvre sont les plus souvent posés, portés sur un ouvrage les supportant ou insérés dans une ossature. Un fois secs, ils deviennent solidaires. Ils supportent mal les reprises. Ainsi, le rebouchage d'une saignée réalisée après séchage ne sera pas homogène et parfaitement continu. Une bonne coordination en amont est donc nécessaire.

Les bétons et mortiers de chanvre nécessitent de bonnes conditions de séchage. De ce fait, la ventilation est primordiale et le temps de séchage relativement long. Le phasage du chantier doit en tenir compte.
De plus en plus de maîtres d'œuvre se forment à la conception et à la réalisation d'ouvrages en chanvre. L'entreprise, formée et compétente, reste garante de la bonne réalisation des ouvrages et doit interagir (conjointement avec le maitre d 'œuvre, si c'est le cas) avec les autres acteurs du chantier. L'usage du béton de chanvre n'est pas encore très connu. Un échange avec les autres acteurs pour expliquer les exigences et contraintes, sans oublier les atouts, doit avoir lieu pendant la phase avant-travaux (conception, préparation) et pendant ces derniers.

Les ouvrages en béton de chanvre doivent être protégés de la pluie.

La ventilation est nécessaire au bon séchage des ouvrages en chanvre.

CONSTRUCTION DE PAROIS AVEC OSSATURE BOIS |

☑ Informer le constructeur de l'ossature en bois des exigences des règles professionnelles (enrobage des bois, taux d'humidité des bois).

☑ Informer le constructeur sur la nature des panneaux de contreventement admissibles et / ou des éléments diagonaux, en fonction de leur position.

☑ Informer le constructeur des besoins liés à la mise en œuvre (zones masquées pour une projection, accessibilité pour les remplissages manuels, affleurement des éléments saillants en vue d'une visée laser, etc.).

☑ Demander un dimensionnement adapté et une rigidité des précadres d'ouverture.

SOL SUR ÉLÉMENT PORTEUR |

☑ Informer sur le poids du béton mouillé.

☑ Notifier l'obligation d'avoir un support très perméant à la vapeur d'eau.

☑ Avertir d'une humidification éventuelle des supports, notamment ceux en bois qui peuvent émettre des tanins. Expliquer les moyens de prévention.

☑ Prévenir des temps de séchage et de mise en circulation.

TOIT |

☑ Informer sur le poids du béton mouillé.

☑ Avertir d'une humidification éventuelle des supports, notamment ceux en bois qui peuvent émettre des tanins. Expliquer les moyens de prévention.

☑ Programmer la pose du pare-pluie avec les dimensions de réserve pour la ventilation et le séchage.

INTÉGRATION DES RÉSEAUX |

☑ Informer les entreprises en charge des réseaux des exigences des règles professionnelles (réseaux sous gaines, écartement entre gaines ou tubes, profondeur d'encastrement, phasage de l'intervention).

AMÉNAGEMENT ET FIXATIONS LOURDES |

☑ Avertir des limites de charges supportables par les bétons de chanvre.

☑ Vérifier que les calepinages de l'ossature et des pièces en renfort soient communiqués aux différents intervenants.

☑ Conseiller sur les matériaux utilisables.

ETANCHÉITÉ À L'AIR |

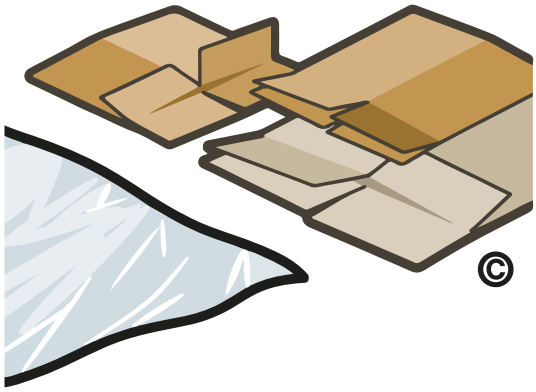
☑ L'étanchéité à l'air d'un bâtiment se conçoit en fonction des solutions techniques envisagées. Le résultat est obtenu en conjuguant étude préalable et réalisation soignée. L'entreprise devant réaliser des ouvrages en chanvre doit participer à la phase d'étude pour accorder la faisabilité du projet à ses demandes et aux contraintes des bétons de chanvre.

☑ Dans le cas d'une finition par un enduit assurant l'étanchéité à l'air, une bande adhésive de raccord à l'enduit, étanche à l'air, devra être posée (adhésif côté bois et trame grillagée côté enduit). Exécuter ou faire exécuter la pose avant la mise en œuvre du chanvre à chaque fois que cela s'avère nécessaire.

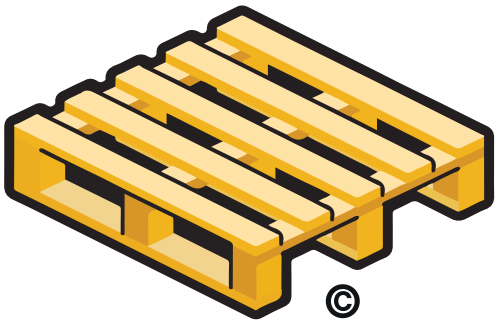
La gestion des déchets de chantier

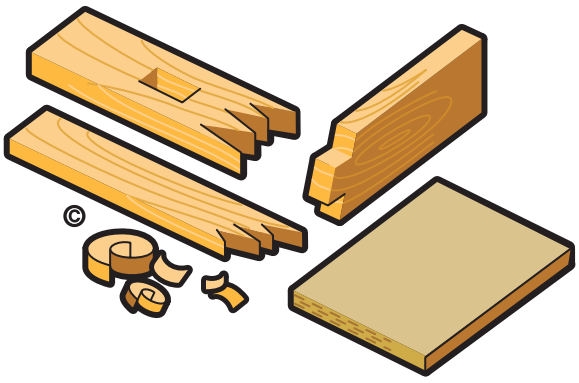
Le béton de chanvre confère un atout environnemental à la construction. La phase de chantier ne peut être contradictoire à cet objectif. L'entreprise se doit d'avoir une démarche exemplaire dans la gestion de ses déchets, en cherchant à minimiser la quantité produite et en veillant à leur bon traitement.

- **Emballages (sacs de chanvre en plastique, sacs de chaux en papier, palettes) :** le tri sera effectué et les emballages seront collectés seront les exigences réglementaires locales.



- **Rebuts de fabrication et de mise en œuvre :** une bonne gestion du chantier doit permettre de les minimiser. L'utilisation des rebuts, notamment avec la projection mécanique qui en génère plus, peut se faire en remplissage de zones sans exigences techniques, en respectant toujours la forte perméance sur une face et en ajoutant un peu de liant si besoin. Bien que l'impact d'un épandage dans l'environnement soit faible (apport de calcaire qui modifie le pH et de matière organique lentement compostable), les déchets générés sont considérés comme des déchets inertes.
- **Eaux de lavage :** celles-ci peuvent contenir du liant et du granulat de chanvre. Dans la mesure du possible, elles ne seront pas déversées ou épandues directement sur les sols environnants mais transférées dans une réserve de décantation. Celle-ci est couverte par un tamis à mailles de 3 à 4 mm pour récupérer le granulat de chanvre mouillé qui pourra être réemployé ou utilisé en paillage. Après décantation des eaux de lavage, les boues seront évacuées avec les déchets inertes. En aucun cas, les eaux de lavages ne seront déversées directement dans les réseaux de collecte (pluviales et eaux usées).





Après la mise en oeuvre du béton de chanvre

La livraison des ouvrages et la réception des travaux

Tout entrepreneur est responsable de ses ouvrages jusqu'à leur réception. La nécessité d'une bonne information des différents intervenants du chantier est incontournable afin que les résultats attendus ne soient pas oblitérés.

- **Respect des conditions de séchage :** une bonne ventilation est importante. Le maitre d'ouvrage et les différents acteurs sont informés qu'ils sont dans l'obligation de respecter les moyens à mettre en œuvre. Un écrit est conseillé pour cette exigence dont le non-respect entraine encore des sinistres.

- **Les ouvrages de recouvrement ne pourront être réalisés que lorsque le matériau aura évacué son eau**. Dès que le béton de chanvre devient un support, le document de réception de ce support doit préciser que le matériau est sec, avec éventuellement une mesure de l'humidité.

Les bétons de chanvre sont des matériaux tendres et fragiles dans leur jeune âge. Si des protections temporaires doivent être posées, il revient à l'entreprise de le faire ou de veiller à leur réalisation dans les temps voulus.

Les conseils et informations après travaux

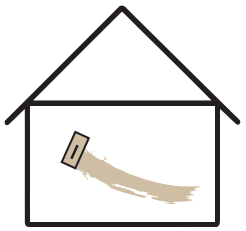
(séchage, recouvrements, entretien...)

La qualité d'un ouvrage en béton de chanvre dépend de sa conception, de sa réalisation et de son usage. L'entreprise de mise en œuvre doit informer le maitre d'ouvrage et le maitre d'œuvre des exigences liées au béton de chanvre pour un résultat optimum.

- Un béton ou un mortier de chanvre doit avoir une face ouverte aux transferts de vapeur et d'eau (sauf spécifications particulières).

- **Les sols :** tous les revêtements, hormis les parquets posés sur lambourdes, sont à considérer comme imperméables et non-perméants à la vapeur d'eau. Même si le matériau est perméant, bien souvent l'application de produits de traitements ou d'entretien aboutissent à cette étanchéité. La face inférieure de l'ouvrage doit donc absolument permettre l'évacuation de l'humidité.

- **Les revêtements muraux :** lors de la conception et de la réalisation, la prise en compte de l'exigence d'une face ouverte aux transferts d'eau est acquise. Une information, spécifiant que tout recouvrement ultérieur doit préserver ce fonctionnement, doit être communiquée par écrit. Le maitre d'ouvrage ou l'utilisateur sera également informé par écrit que tous les revêtements, peintures et traitements étanches sont à proscrire au moins sur une face (enduits ciment, peintures filmogènes et étanches, mortiers préformulés génériques non-spécifiés pour cet usage).



Lors de la remise des DOE (documents des ouvrages exécutés), la composition du mortier ou du béton mis en œuvre doit être communiquée. Ceci facilitera les éventuelles reprises ultérieures. La fiche « retour d'expérience » proposée par Construire en Chanvre regroupe ces éléments et peut avoir un double rôle.

Même quand le DOE n'est pas formellement demandé, une fiche regroupant la composition du mortier et les recommandations à l'usager devrait systématiquement être laissée au maître d'ouvrage.

CONCLUSION

Voici plus de 35 ans que nous construisons et réhabilitons avec du chanvre. La technique est éprouvée. Cependant, nous développons toujours de nouveaux usages et de nouvelles méthodes de fabrication pour rechercher des meilleures performances. La connaissance du matériau progresse aussi pour répondre à l'évolution permanente des contextes réglementaires et des besoins sociétaux.

Nous avons capitalisé sur nos bonnes expériences, poursuivi le travail de recherche, engagé des études pour certifier et mettre en valeur les qualités et les performances des bétons et mortiers de chanvre.

L'ambition de la filière est de développer désormais à grande échelle avec des bâtiments de grande ampleur, comme dans les villages olympiques.

Cet ouvrage se veut un outil pratique et pédagogique pour guider les professionnels et artisans dans des mises en œuvre pérennes et de qualité.

La connaissance ne vaut que si elle est partagée !

LEXIQUE

Acrotère

Elément d'une façade situé au-dessus du niveau de la toiture ou de la terrasse, à la périphérie du bâtiment, et constituant un rebord ou un garde-corps, plein ou à claire-voie.

Application à fresco

A fresque : la peinture est appliquée sur un enduit frais, ayant seulement débuté sa prise.

Badigeon à la chaux

Mélange fluide d'eau et de chaux, pouvant être coloré par des pigments et être adjuvanté, appliqué en peinture plus ou moins couvrante. . On parle également de peinture à la chaux. Les badigeons à la chaux relèvent du DTU 26-1, alors que les peintures minérales relèvent du DTU 59-1 , revêtements de peinture.

Bande de rupture de capillarité

Feuille d'étanchéité contre les remontées capillaires entre 2 ouvrages, découpée en bandes, constituée d'une armature en composite polyester/verre enduite d'un bitume élastomère ou tout autre matériau étanche à l'eau.

Barbotine

Mélange fluide plus ou moins épais composé de liant et d'eau.

Biosourcé

Se dit d'un produit ou d'un matériau entièrement ou partiellement fabriqué à partir de matières d'origine biologique.

Calepinage

Réalisation d'un calepin : Opération qui consiste à noter les mesures et les agencements d'éléments de construction (pierres, dallages) en vue de faciliter leur pose.

Cardeuse

Machine, qui via un système mécanique décompacte un matériau en grains ou en flocons, et le propulse par air comprimé dans un tuyau. La régularité de la distribution est obtenue par son passage au travers d'un dispositif dénommé écluse.

Chaux aérienne	Chaux de construction, constituée principalement d'oxyde de calcium et d'oxyde magnésium (avant extinction) qui se combine et durcit avec le dioxyde de carbone (CO^2) présent dans l'air.
Chaux hydraulique	Chaux de construction constituée principalement d'hydroxyde de calcium, de silicates de calcium et d'aluminates de calcium. Elle a la propriété de faire prise et de durcir lorsqu'elle est mélangée à l'eau. La réaction avec le dioxyde de carbone (CO^2) présent dans l'air contribue au durcissement.
Cinétique	Qui se rapporte ou qui est dû au mouvement.
Confortement	Renforcement d'un ouvrage qui risque de s'effondrer ou pour assurer sa stabilité.
Contreventement	Assemblage pour assurer la stabilité globale d'une construction ou d'un ouvrage. En construction bois, c'est souvent une pièce disposée obliquement dans un ensemble formant cadre.
Couvertine	Elément de protection et d'étanchéité de la partie supérieure d'un muret ou d'un acrotère.
DTU (Documents Techniques Unifiés)	Normes françaises décrivant les conditions techniques pour la bonne exécution des ouvrages. Elles sont applicables de fait pour les marchés publics ou de façons contractuelles pour les marchés privés.
Eau de carbonatation	La prise d'une chaux s'effectue par carbonatation : processus chimique de fixation du CO^2 contenu dans l'air et rejet de l'eau qui a permis l'extinction de la chaux. Ce vol d'eau rejeté, équivalent au volume d'eau nécessaire à l'extinction est appelé « eau de carbonatation ».
Ecluse rotative	La fonction d'une écluse rotative est de réguler le débit d'un produit pulvérulent ou granuleux entre deux enceintes tout en conservant une bonne étanchéité à l'air.
Effusivité	L'effusivité caractérise la température de rayonnement du mur, qui contribue au confort thermique ressenti.

Enduit performanciel

La norme EN 998-1 défini deux types de mortiers pour enduire : les mortiers performanciels (formulés) dont la composition et la méthode de fabrication ont été choisies par le fabricant en vue d'obtenir des propriétés spécifiques (concept de performance).

EPI (Équipement de Protection Individuelle)

Dispositif ou moyen destiné à être porté ou tenu par une personne en vue de la protéger contre un ou plusieurs risques susceptibles de menacer sa sécurité ou sa santé au travail, quand des équipements collectifs (EPC) ne peuvent être mis en œuvre.

Eurocode

Ensemble de normes européennes de dimensionnement et de justification des structures de bâtiment et de génie civil.

Feuillard

Ruban ou bande de métal de quelques centimètres de largeur utilisé par les charpentiers pour constituer des contreventements, utilisé par les carreleurs pour remplacer les règles et protéger les repères de niveau lors du tirage des chapes.

Gâchage

Action de délayer du plâtre, des composants d'un mortier, de les malaxer avec de l'eau pour obtenir une pâte.

Garde au sol

Hauteur de protection contre les projections d'eau de rejaillissement.

Géosourcé

Se dit d'un produit ou d'un matériau entièrement ou partiellement fabriqué à partir de matières d'origine minérale, peu transformées.

Gobetis

Première couche de mortier appliquée par projection ou manuellement en couche mince préparatoire pour régulariser la porosité du support de maçonnerie et assurer l'accrochage de couches ultérieures.

Gutineuse ou machine à guniter

Permet de constituer une paroi vertical en couvrant de gunite un support en enduire, (Gunite : béton mis en œuvre par refoulement dans une conduite et projeté sur une paroi par un jet d'air comprimé (peu usité).

Hérisson ventilé

Technique traditionnelle qui permet de traiter les problèmes d'humidité en pied de murs et sous dalle. Il assure une évacuation permanente d'une grande partie de l'humidité grâce un drain et un lit de cailloux.

Hygroscopicité

L'hygroscopicité caractérise la capacité du matériau à stocker et déstocker l'humidité.

Larmier

Le larmier, parfois appelé « goutte d'eau », est la partie saillante transversale basse de la charpente, d'une corniche, d'un bandeau ou d'un appui de fenêtre en façade, qui a pour fonction d'éloigner l'eau de ruissellement de la face du mur et donc d'éviter son infiltration.

Marouflage

Incorporation d'une trame (toile à mailles larges en fibres plastiques ou naturelles) dans une couche d'enduit.

Muraillère

Poutre ou lambourde scellée le long d'un mur, pour porter un plancher.

Pare pluie HPV

Hautement perméant à la vapeur d'eau, ils ont une valeur Sd inférieure ou égale à 0,10 m (guide CSTB, écran souple de sous toiture).

Perméance

Quantité de vapeur d'eau qui traverse un mètre carré en une heure avec un gradient de pression de 1 mm de Hg. Elle dépend de la perméabilité à la vapeur d'eau, caractéristique propre à chaque matériau.

Phénomènes endo et exo thermiques

Le terme « endothermique » se rapporte à un phénomène physique ou à une réaction chimique qui s'accompagne d'une absorption d'énergie. Un phénomène endothermique est l'opposé d'un phénomène exothermique.

Pisé, bauge ou adobes

Différentes modes de construction en terre crue. Le pisé et la bauge sont des techniques de construction de murs monolithiques. L'adobe est une brique en terre crue moulée.

Polyane

Terme, dérivé d'une marque commerciale, désignant couramment dans le BTP, les films plastiques (généralement en polyéthylène) d'utilisation diverse (protection, barrière étanche ou pare-vapeur).

Pont thermique

Zone ponctuelle ou linéaire qui, dans l'enveloppe d'un bâtiment, présente une variation de résistance thermique. Il s'agit d'un point de la construction où la barrière isolante est rompue.

Précadre

Cadre plus grand que le bâti dormant d'une menuiserie, intégré dans un mur permettant l'insertion de ce dernier après réalisation du mur, parfois simultanément (= ensemble précadre + dormant).

Principe tenons/mortaises

Une mortaise est un trou souvent rectangulaire pratiqué ou aménagé dans une partie d'un assemblage pour recevoir un élément saillant d'une autre pièce de cet assemblage, le tenon.

Ravoirage

Ouvrage en sable, en sable stabilisé, en mortier ou en béton maigre, réalisé sur un support horizontal, et permettant d'obtenir un niveau imposé ou d'y noyer des canalisations de plomberie, de chauffage ou d'électricité. Le ravoirage assure uniquement le transfert vertical des charges.

Règles Professionnelles

Règles techniques élaborées à l'initiative d'organisations professionnelles représentatives des secteurs concernés, ayant fait l'objet de la publication d'un document authentifié par les instances dirigeantes de ces organisations et portées par elles à la connaissance des pouvoirs publics et des autres organisations représentatives des Maîtres d'Ouvrage, des Constructeurs et des Contrôleurs Techniques. Les techniques visées par des règles professionnelles inscrites sur la liste verte de la C2P sont reconnues « techniques courantes ».

Tanins

Substance organique contenue dans de nombreux végétaux, notamment dans des bois (chêne, châtaignier, acacia).

Trémie

Une trémie est un espace réservé dans un plancher pour laisser passer un escalier, un ascenseur, une cheminée… Une trémie désigne également un tunnel court permettant à une voie de circulation de passer en dessous d'une autre.

Vide sanitaire

Espace aéré, non habitable, créé par la surélévation du premier plancher de la construction.

ABRIEVATIONS

AQC	Agence Qualité Construction
Bbio	Besoin bioclimatique
C2P	Commission Prévention Produit
DTU 26.1	Travaux d'enduits de mortiers
DTU 31.1	Charpente et escaliers en bois
DTU 31.2	Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois
DTU 41.2	Revêtements extérieurs en bois
DOE	Dossier des ouvrages exécutés
E+/C-	Label « Bâtiments à Energie Positive et Réduction Carbone »
Eurocode 5	Calcul des structures en bois
FDES	Fiches de Données Environnentales et Sanitaires, regroupées dans la base INIES - https://www.inies.fr/)
HPV	Hautement perméable à la vapeur d'eau
ITE	Isolation Thermique Extérieure
ITI	Isolation thermique Intérieure
MBV	Valeur du tampon hydrique («Moisture Buffer Value» en anglais)
MOA	Maîtrise d'ouvrage
MOE	Maîtrise d'œuvre
NHL	Chaux hydraulique naturelle (Natural Hydraulic Lime) selon la norme EN 459-1
PIC	Plan installation chantier
PNR	Parc Naturel Régional
RP2C	Règles Professionnelles de la Construction Chanvre

CHANVRE

LE REDACTEUR

Luc Van Nieuwenhuyze
Pratiquant la construction en chanvre depuis 1994, Luc Van Nieuwenhuyze est membre de Construire en Chanvre depuis 1999.
Il a mis en œuvre durant 12 ans dans son entreprise de restauration du bâtiment ancien des bétons et mortiers de chanvre en doublage, sol et enduits. En 2004, il fait partie des premiers formateurs de CenC et travaille sur les programmes de formation.
Désormais, co-président du CF2B et administrateur de CenC, Luc a conçu le catalogue de formation, a participé à la conception des formations Batisseur.ses Biosourcé.es (CF2B) et pour la maitrise d'œuvre (CenC).

construire en CHANVRE

janvier 2021

PACTE
Programme d'Action pour la qualité de la Construction et la Transition Energétique

InterChanvre