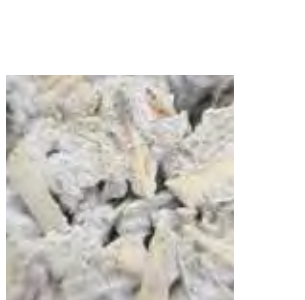


CHANVRE



GUIDE DES BONNES PRATIQUES

TOME 3

BETON ET MORTIER DE CHANVRE

Préconisations techniques,
optimisations et performances



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



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 remontées de terrain.

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
- Sarah Pougnaud stagiaire et étudiante en design graphique
- InterChanvre pour son implication dans la conception et la réalisation de cet ouvrage.
- SoDesign pour la maquette

GUIDE DES BONNES PRATIQUES

TOME 3

BETON ET MORTIER DE CHANVRE

Préconisations techniques, optimisations et performances

Par Quentin Pichon
& Jean-Marc Naumovic

SOMMAIRE

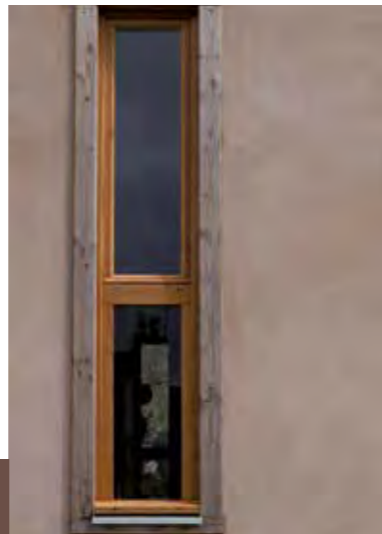
PREFACE
INTRODUCTION

1 - CADRAGE NORMATIF
ET PRECONISATIONS
TECHNIQUES

2 - UNE REGULATION
HYGROTHERMIQUE
EXCEPTIONNELLE

3 - ARCHITECTURE
BIOCLIMATIQUE

4 - LES EXCELLENTEES
PERFORMANCES
DU BETON DE CHANVRE:
ENVIRONNEMENTALE,
SANITAIRE, DURABILITE,
COMPORTEMENT AU FEU
ET ACOUSTIQUE



©BCB Tradical® - NNNW architectes - © photo F. Renard

6 - 11

12 - 55

56 - 89

90 - 101

102 - 111

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.

PRETACE

Le chanvre nous accompagne depuis le néolithique ; ses utilisations sont tellement variées, qu'elles en deviennent surprenantes.

Sa résistance légendaire 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 conquérir d'autres mondes.

Le papier à base de chanvre était des plus solides et fut choisi pour réaliser les billets de banque et les papiers spéciaux. Le chanvre serait la culture productrice de la biomasse la plus rapide du monde végétal.

Il permet de produire quatre fois plus de produit que le bois, à surface égale, avec la spécificité d'un produit naturellement blanc qui résiste aux siècles.

Le chanvre a directement contribué à la sauvegarde du patrimoine culturel mondial. Il fut entre autre le support de la déclaration d'indépendance des USA, et de la constitution américaine, mais aussi des livres anciens qui ont traversé les siècles. La toile de chanvre fut aussi utilisée par de nombreux artistes peintres, comme Léonard de Vinci et Picasso.

Plus proche de nous, avant la seconde guerre mondiale, Henri Ford demanda à ses ingénieurs d'inventer la première voiture biosourcée qui roulait à l'éthanol de chanvre avec une carrosserie en fibre de chanvre.

Sa carrosserie semblait alors bien plus solide que celles à base d'acier.



© Nathalie Fichaux

La guerre mobilisa la sidérurgie, et le règne de l'acier et du pétrole pas chers eurent raison de cette invention. Aujourd'hui, certains constructeurs automobiles réintroduisent la plasturgie à base de chanvre permettant d'alléger les voitures et d'en améliorer l'impact environnemental.

Depuis peu, le chènevis (graines de chanvre) permet de réaliser une des meilleures huiles alimentaires, bien équilibrée en oméga 3 et 6, et ainsi réputée pour être bonne pour le cœur, les artères mais aussi pour l'équilibre alimentaire et les défenses immunitaires.

Ainsi des produits alimentaires sont créés à partir de cette graine qui produit une excellente qualité de protéines. Plus encore, la capacité réparatrice pour la peau en fait une base de choix pour la cosmétique.

On sait aussi que certains pays se penchent sur l'aspect thérapeutique du chanvre pour lutter contre des maladies complexes comme l'épilepsie, la sclérose en plaque et d'autres maladies du système nerveux mais pas seulement.

Enfin pour en terminer sur les qualités de cette plante qui absorbe de grandes quan-

tités de CO₂ : améliore les sols, ne nécessite aucun pesticide, il semble nécessaire de mettre en avant son excellent impact écologique, économique, et son incroyable diversité d'utilisation.

Des centaines de débouchés différents du chanvre ont été répertoriés, avec, à chaque fois des découvertes étonnantes pour l'homme.

Alors que dès le 7^e mois de l'année 2017, les ressources annuelles de notre planète était déjà consommée. Cette plante, ne serait-elle pas une solution nous permettant de réduire notre impact écologique ?



Dans cet ouvrage, nous porterons notre attention sur le « béton de chanvre », mélange d'un liant et de chènevotte (la paille du chanvre). Cette belle découverte a eu 30 ans en 2016. Elle nécessite que l'on s'y attarde pour offrir plus d'explications, plus de compréhension à ceux qui veulent approfondir leur savoir sur cette technique de construction. La multiplicité de ses utilisations autant en neuf qu'en rénovation, en fait un système constructif à part.

Empreinte carbone réduite, climatisation naturelle, régulation hygrothermique, et bien d'autres qualités nous semblent sans équivalent à ce jour. La chaux, la terre et d'autres produits sont les alliés d'un nouvel art de construire avec le chanvre.



*Jean-Marc Naumovic
Président de Construire
en Chanvre, membre
fondateur, Architecte*

INTRODUCTION

Cet ouvrage est destiné à ceux qui veulent approfondir leur savoir sur le béton de chanvre, pour ouvrir « la boîte noire » des connaissances sur un matériau sans équivalent.

Ce guide pédagogique est destiné à évoluer au fur et à mesure de nouvelles recherches et instrumentations, mais aussi des diverses connaissances que l'association Construire en Chanvre et ses partenaires acquièrent depuis vingt ans. Il n'est donc pas exhaustif, mais il a le mérite de parler réellement de ce matériau sur des points fondamentaux.

Il est destiné principalement aux architectes, maîtres d'œuvre, entrepreneurs avisés, experts et bureaux de contrôle. Une vision transversale est nécessaire pour parler réellement de la construction en chanvre.

C'est pourquoi, il nous semble important de confier cette mission aux architectes et ingénieurs qui possèdent cette vision. Son but est de donner accès à la connaissance de ce mode constructif et de son environnement.



Béton de chanvre mis en œuvre en toiture

« Eviter les erreurs, les malfaçons »

Mieux comprendre son fonctionnement, évoquer les points critiques, les pièges à éviter, tels sont les objectifs de cette première version.

C'est donc la sécurisation et la compréhension de ce matériau qui sont au cœur de cet ouvrage.

Il s'appuie sur les règles professionnelles réalisées par Construire en Chanvre pour faciliter l'assurabilité et la reconnaissance du matériau face aux institutions.

Ces règles et ce guide forment un tronc commun afin de donner les bonnes bases pour construire.

Éviter les erreurs, les malfaçons, comprendre pourquoi notre approche peut être ressentie comme complexe. Plus nous rentrons dans le sujet, plus nous le sécurisons, et plus nous ouvrons le champ d'investigations qui restent à découvrir.

« Destiné à ceux qui veulent approfondir leur savoir sur le béton de chanvre »

Tel est le lot du chanvre, durable, complexe, hors normes, utile à l'homme, au territoire, à la transition énergétique, à l'agriculture, un des remèdes à une société consumériste.

Enfin ce travail ne serait possible sans les partenaires de Construire en Chanvre, agriculteurs, artisans, architectes, chauffourniers, ingénieurs, chanvriers, transformateurs, chercheurs, institutionnels, politiques, administratifs... qui œuvrent avec Construire en Chanvre.

Tous ceux qui par le passé ont aussi transmis le flambeau.

C'est donc avec humilité que nous leurs adressons la version 2018 de cet ouvrage.

Nous adressons tous nos remerciements à nos adhérents, pour leur fidélité à l'association, pour leur persévérance à mettre en place ce mode constructif unique.

1 - CADRAGE NORMATIF ET PRECONISATIONS TECHNIQUES

Les mises en œuvre : rappels des applications 13

- Mise en œuvre dans le cadre des règles professionnelles
- Blocs et préfabriqués

Suivi C2P avec retour d'expérience 16 - 17

- Analyse du retour d'expérience

Contexte normatif de Construire en Chanvre : 4 points à suivre 18 - 35

- Qualité de la conception des ouvrages :
les règles professionnelles d'exécution (vers un DTU)
- Qualité sur la mise en œuvre : la formation à Construire en Chanvre
- Les différentes familles de liants utilisés
pour obtenir les bétons et mortiers de chanvre
- Le processus qualité : les couples liant / granulat
- Le label chanvre bâtiment : la qualité du granulat
- Les liants validés et adaptés à la chènevotte

Préconisations de mise en œuvre, ce qu'il faut savoir 36 - 46

- Les conditions climatiques et géographiques
- Les données sur les temps de séchage
- Support tendre à semi-tendre selon les dosages :
mise en œuvre des revêtements
- Fixation d'éléments intérieurs et extérieurs

Les bois d'ossatures 47 - 53

- Les classes des bois
- Enrobage des bois
- Réception des bois d'ossature (contrôle d'humidité)
- Complémentarité à l'ossature bois

L'étanchéité à l'air 54 - 55

- Rappels sur la réglementation
- Les points de vigilance des ouvrages en béton de chanvre
- Des exemples de résolutions

Les mises en œuvre rappels des applications

Depuis sa création en 1998, CenC (Construire en Chanvre) agit pour sécuriser l'acte de construire en béton de chanvre. Cette sécurisation passe par la mise en place d'un cadre normatif et réglementaire, devant permettre à tous les professionnels de bâtir en chanvre tout en étant assurés.

Pour cela, l'association CenC fixe quatre points nécessaires pour construire en toute sécurité :

- **le respect des règles professionnelles :**
qualité de la conception,
- **la formation CenC des applicateurs :**
qualité des mises en œuvre,
- **l'utilisation d'une chènevotte labélisée chanvre bâtiment :** qualité du granulat,
- **et la mise en œuvre d'un couple liant/granulat validé** par des laboratoires accrédités suivant les protocoles d'essais validés dans le cadre des règles professionnelles. Le béton devra répondre aux valeurs seuils des caractéristiques mécaniques exigées : qualité des matériaux.



Qualité



Savoir faire



Granulat



Béton



Les mises en œuvre Dans le cadre des règles professionnelles

Les règles professionnelles font référence à deux appellations pour le mélange liant/chanvre : le béton et le mortier de chanvre. La distinction entre les deux se fait dans le type d'applications. Les bétons de chanvre concernent toutes les applications (toit, mur et sol), tandis que les mortiers font références aux enduits.

Les matériaux pour la confection du mélange restent les mêmes : un granulat labellisé (la chènevotte) un liant minéral et de l'eau.

- **béton :** toit, mur, sol,
- **mortier :** enduit.



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

Trois techniques de mise en œuvre existent pour ces applications :

le coulage manuel avec banchage
la projection mécanique
l'application manuelle des enduits.

- **La mise en œuvre manuelle** consiste à déverser le béton de chanvre entre deux banches. Les prescriptions sont décrites dans le livret « Application mur » des Règles Professionnelles d'Exécution. Ces Règles précisent qu'il appartient au professionnel d'apporter à son assureur la preuve de son savoir-faire et de sa maîtrise du produit, lesquels peuvent s'acquérir par des formations adaptées.

- **La mise en œuvre avec une machine adaptée** ne nécessite qu'une banche sur laquelle est projeté le mélange liant/chanvre/eau (d'autres techniques existent avec la mise en place de filets perforés entraxes des parois).

Les bétons de chanvre étant peu fluides, on utilise des machines de projection type :

- **voie humide** : mélange humide puis projeté.

- **voie semi sèche** : coulis d'eau et de liant se mélangeant au chanvre au niveau de la lance.

- **voie sèche** : mélange à sec du granulats et du liant, mouillage à l'eau au niveau de la lance (gunitreuse).

Il conviendra de se référer aux règles professionnelles, qu'il s'agisse des prescriptions ou du choix des produits.



Banchage manuel



Projection mécanique

Blocs et préfabriqués

Blocs et panneaux

Dans le respect des règles professionnelles, le béton de chanvre peut être mis en œuvre sur chantier ou en atelier pour la préfabrication de panneaux à ossature bois. À l'inverse, non décrit dans les règles professionnelles, la mise en œuvre par maçonnerie de blocs en bétons de chanvre préfabriqués et maçonnés existe.



Chantier en blocs à maçonner

Suivi C2P

avec retour d'expérience



Analyse du retour d'expérience

Fiche AQC

Aujourd'hui, en l'absence de description dans les D.T.U. des règles de la construction en béton et mortier de chanvre, les règles professionnelles constituent le cadre réglementaire reconnu par les différentes instances, ainsi que par les professionnels du bâtiment. Elles facilitent la prise en compte des techniques par les assureurs.

Les règles professionnelles ne sont pas figées ni définitives.

Au contraire, elles doivent être mise à jour en fonction de l'évolution des connaissances sur le matériau béton de chanvre.

Cette mise à jour effectuée par l'association Construire en Chanvre est fondée sur :

- **L'analyse et la synthèse des travaux** de R&D menés par les différents laboratoires partenaires de CenC.

- **L'analyse du suivi des chantiers** avec retours d'expériences des professionnels de la construction en chanvre.

Le second point, est ce que l'on appelle le suivi C2P, commission préventions produits. CenC est convoqué tous les deux ans à cette commission de l'Agence Qualité Construction. Cette commission réunit un groupe de professionnels du bâtiment composé d'ingénieurs, assureurs, et bureaux de contrôle, qui décident du maintien ou non des règles professionnelles.

L'enjeu est important, car de l'issue de cette commission dépend l'assurabilité des professionnels de la filière chanvre bâtiment.

Pour préparer cette commission, CenC réalise un suivi d'ouvrages en béton de chanvre. Ce suivi est primordial, car il permet d'évoluer vers plus de qualité et ainsi d'orienter la prescription et la R&D. Pour faciliter ce travail, CenC propose des fiches de suivi de chantier à remplir. Le cadrage de ces fiches est validé par l'AQC. Elles constituent le socle du suivi du retour d'expériences. Courtes, précises et faciles à remplir par le prescripteur, elles regroupent l'ensemble des points importants à relever.

Cet aspect d'observatoire de la construction permet d'élaborer les démarches futures en matière de R&D et de formation.

Sur l'ensemble des ouvrages répertoriés et analysés, lorsque des pathologies ont été observées, celles-ci sont pour la plupart dues à un non respect des

quatre points de la construction

en chanvre (qui seront développés à partir de la p. 18), et principalement le non respect des règles professionnelles.

Comme pour tout système constructif, il est nécessaire de suivre des préconisations avant, pendant et après la mise en œuvre du matériau.

L'objectif de ce guide n°3, est d'arriver à communiquer ces préconisations, issues des retours d'expériences de ces 30 dernières années.



Fiche REX

REMARQUE | sur plus de 200 ouvrages suivis, on dénombre environ 5% de désordres mineurs, qui peuvent être évités en se référant aux bonnes pratiques présentées dans les modules et les règles professionnelles.

Les erreurs les plus courantes peuvent être :

- **Des remontées capillaires** dans les pieds de murs, pour des détails mal exécutés en neuf comme en rénovation.
- **Des pathologies liées à l'utilisation de matériaux étanche** bloquant les qualités hygrique du béton de chanvre (régulation hygrométrique perturbées).
- **Des micro-fissurations sur les finitions** qui peuvent être liées aux conditions de mise en œuvre, à la qualité des enduits...
- **Des fissurations, liées à l'addition de plusieurs facteurs** : conditions climatiques, chocs thermiques, résistance au vent, tassement, déformations liées à l'ossature, séchage et retrait (pour les bois d'ossature et le béton de chanvre), problèmes de cohésion dans le cas du bâti ancien, torsion des pièces de bois (bien que ce problème soit rare, il est important de le souligner), non respect de l'enrobage minimum des montants.
- **L'étanchéité à l'air sur les jonctions** avec les menuiseries et les liaisons entre parois différentes.

Pour tous ces points, des éléments de réponse sont donnés dans cet ouvrage.

Contexte normatif de CenC : 4 points à suivre



Qualité de la conception des ouvrages : les règles professionnelles d'exécution

En l'absence de DTU spécifique aux bétons et mortiers de chanvre, les Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrages en Bétons de Chanvre, ce document de référence s'appuie sur deux piliers :

Les Règles Professionnelles d'Exécution facilitent l'assurabilité de la construction à base de mortiers et bétons de chanvre.

Aboutissant à la rédaction et à la validation des Règles Professionnelles d'Exécution d'Ouvrages en Bétons de Chanvre, ce document de référence s'appuie sur deux piliers :

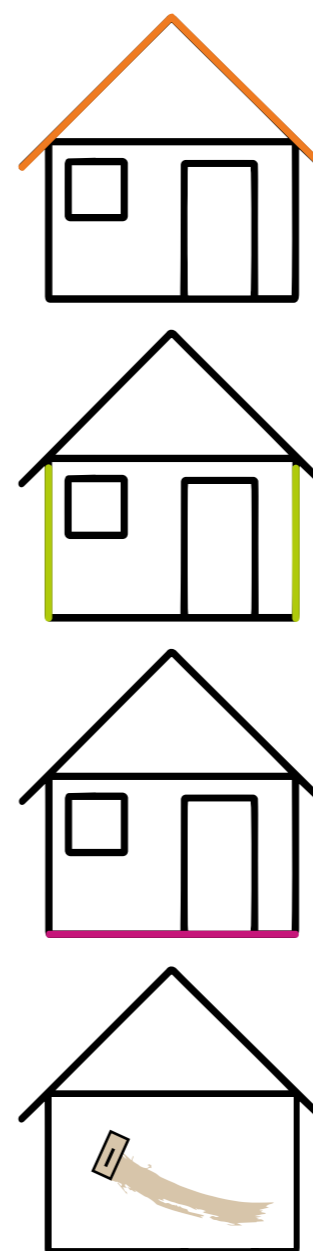
- **Le bon fonctionnement des matériaux,** garanti par les fournisseurs et les couples validés.

- **La qualité de la réalisation,** garantie par les entreprises de mise en œuvre.

La filière chanvre a mis en place une démarche qualité et a confié son pilotage et le suivi de son évolution à l'association Construire en Chanvre.

Ce document évolue régulièrement. Une première version a été rédigée en avril 2007, puis une seconde version en janvier 2012. Cette dernière fait l'objet d'un suivi de retour d'expérience rigoureux auprès de la commission prévention produits.

Lieux d'application

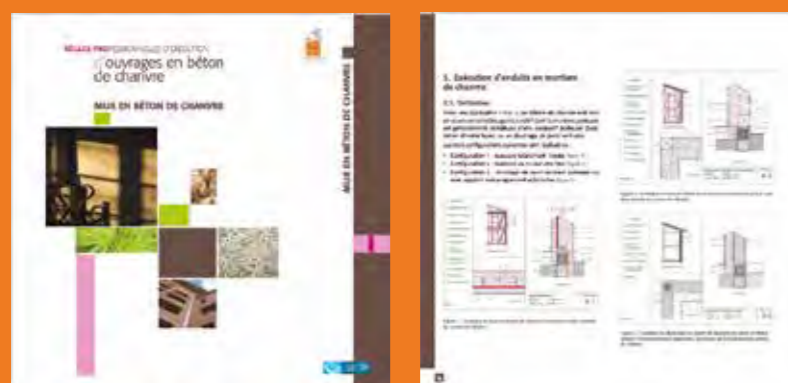


Avec l'aide de ses partenaires, CenC s'engage à mettre à jour ses connaissances techniques et à les diffuser dans le but de sécuriser l'acte de construire en béton et mortier de chanvre. Le carnet de détail technique est un des points des règles professionnelles. Il peut être modifié en fonction de l'évolution du cadre normatif des systèmes constructifs. Intégration dans les DTU existants, ou DTU spécifique, la question est posée.

REMARQUE |

CONTENU DES RÈGLES

- Mise en œuvre toit
- Mise en œuvre mur
- Mise en œuvre sol
- Mise en œuvre enduit
- Un carnet de détails constructifs.

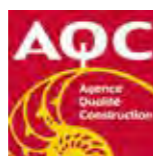


Extraits des Règles Professionnelles



Qualité sur la mise en œuvre : La formation à CenC et guides pédagogiques

La formation est un des piliers du développement de la construction en chanvre. Il est donc indispensable que les formations répondent à des critères de qualité suffisants pour donner aux



professionnels les compétences nécessaires. Pour garantir la qualité des formations, CenC a mis en place **une procédure d'agrément des formateurs** conformément aux Règles Professionnelles, ouverte aux professionnels du bâtiment qui souhaitent dispenser des formations de qualité.

Les formations qualifiantes CenC s'appuient sur un référentiel précis et évolutif.

CenC a en effet renforcé son système de formation venant ainsi compléter les règles professionnelles.

Des guides pédagogiques visent aussi à communiquer plus largement sur l'excellence du béton de chanvre, mais également sur une meilleure compréhension des techniques de mise en œuvre propres au matériau.

Le présent ouvrage vient en complément des règles professionnelles. Il est le numéro 3 sur 4 livres prévus. A l'instar des règles professionnelles, ce document est évolutif et constitue une base de connaissances importantes sur les bétons de chanvre.



...Tout entrepreneur doit, s'il désire mettre en œuvre du béton de chanvre, contacter son assureur afin de lui apporter la preuve de l'existence du savoir-faire et de la maîtrise du produit au sein de son entreprise. S'il n'a aucune expérience du matériau, il devra suivre (ou faire suivre à un ou plusieurs de ses salariés) une formation conforme aux règles professionnelles dispensée par un formateur agréé par l'association Construire en Chanvre.

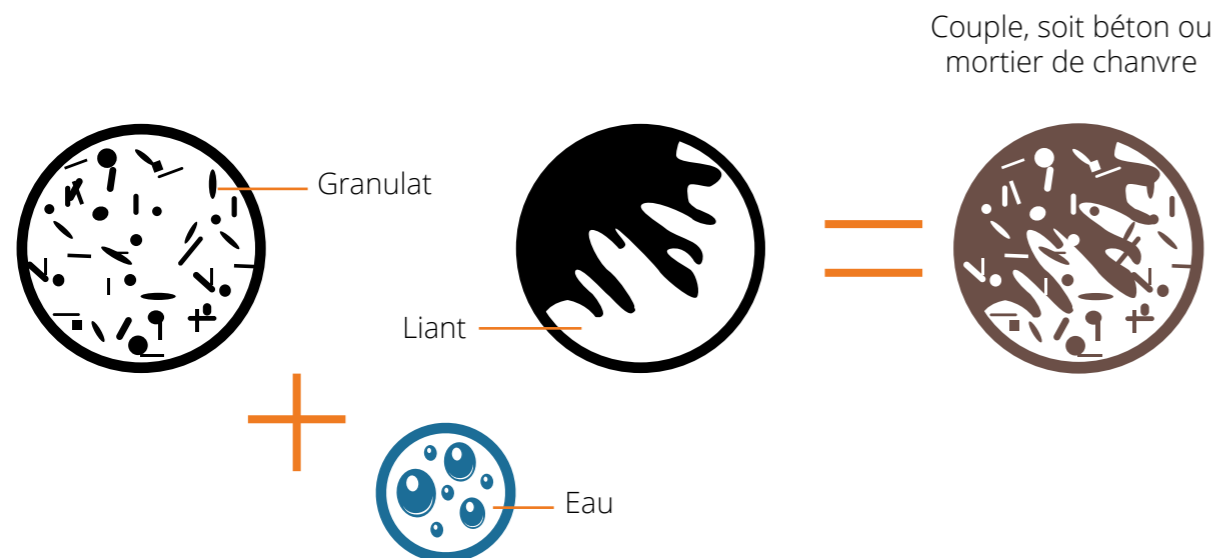
A l'issue de sa formation, le formateur transmettra au stagiaire une attestation numérotée et nominative établie sur un document officiel de Construire en Chanvre...





Les différentes familles de liants utilisés pour obtenir les bétons et mortiers de chanvre

Pour la compréhension de cette partie, un bref descriptif des mécanismes de fabrication des liants et leur prise en compte dans les textes normatifs seront faits. Néanmoins, pour plus de renseignements sur les processus d'élaboration des liants et leurs utilisations dans le bâtiment, nous vous invitons à consulter l'ouvrage « **Les chaux et les sables dans les enduits** ». Nous avons essayé d'aborder ce sujet en fonction des caractéristiques propres aux bétons et mortiers de chanvre. Pour cela, nous nous référons aux DTU 26.1 et aux normes NF-EN 459-1 (version 2012 - chaux de construction), NFP 15-314 (ciment prompt naturel), NF EN 197-1 (ciments courants).



La chaux

● La chaux aérienne

Elle est issue d'un calcaire très pur. À partir d'une hydratation de la chaux vive (CaO), on obtient de la chaux aérienne éteinte. Sa prise se fait en présence d'eau par carbonatation avec le CO₂ de l'air.

Le séchage est lent et les propriétés mécaniques des matériaux nécessitent du temps avant de se stabiliser.

● La chaux ayant des propriétés hydrauliques

Elle est issue d'un calcaire plus ou moins argileux contenant des silicates et des aluminates de calcium. La réaction entre ces silicates et le calcaire donne la chaux hydraulique.

Une fois en contact avec l'eau, une première prise hydraulique a lieu. Elle est ensuite suivie d'une prise aérienne plus lente.

Les liants : ce que dit la norme, et ce qu'il faut en comprendre

On parlera de liants, car il existe plusieurs produits sur le marché à base de chaux aérienne, de chaux ayant des propriétés plus ou moins hydrauliques, de ciment prompt naturel, etc.

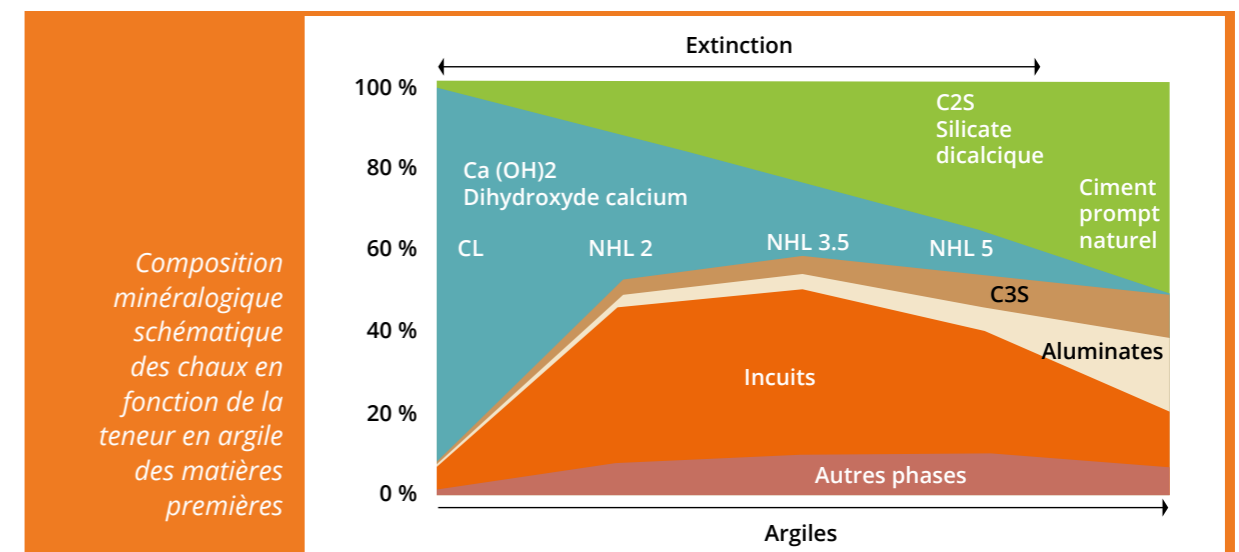
La diversité des produits utilisables pour construire en chanvre implique des caractéristiques distinctes propres à chaque béton et mortier de chanvre.

Parmi les paramètres variables, on peut citer la résistance mécanique à la compression et le module d'élasticité.

Dans tous les cas on devra se référer aux Règles Professionnelles et aux couples liants/granulats ayant passé les tests de validations auprès d'un laboratoire accrédité.

Voir liste des couples liant/granulat validés, mise à jour disponible sur construire-en-chanvre.fr

La connaissance des liants est importante lorsque l'on souhaite concevoir des gobetis, corps d'enduit ou badigeons en finition sur les parois en béton de chanvre. Les liants et leurs caractéristiques sont présentés dans la norme NF EN 459, NFP 15-314 et NF EN 197-1.



En complément, les liants peuvent contenir, en différentes proportions, des adjuvants et charges pour améliorer certaines de leurs caractéristiques en fonction du granulats avec lequel ils sont mis en œuvre. Nous allons voir l'importance de l'utilisation de liants validés avec une chènevotte labélisée « chanvre bâtiment ».

Les mélanges de liants
sur chantier sont interdits.



Le processus qualité

Les couples liant / granulat



RAPPEL |

Lorsque l'on parle de béton ou mortier de chanvre, les ingrédients utilisés dans sa confection sont un granulat, un liant et de l'eau. Le tout forme un béton ou mortier qui respecte les valeurs seuils de performances mécaniques préconisées dans les Règles Professionnelles.

Le processus qualité associé à la construction en béton et mortier de chanvre a pour but de sécuriser l'acte de construire.

Cette partie sur les couples liants homologués et granulats chanvre labélisés, donne des éléments de réponse précis et non contestables sur l'importance du respect de ces deux points :

- Utiliser une chènevotte conforme au référentiel du label « chanvre bâtiment ».
- Mettre en œuvre un couple liant/granulat validé par un laboratoire accrédité et respectant les valeurs seuils de performances mécaniques.

Ces deux règles garantissent la qualité des bétons et mortiers confectionnés. Dans les illustrations et détails qui suivent, nous montrons le caractère essentiel de ces deux paramètres.



Essai à la compression / béton de chanvre



Le label « chanvre bâtiment »

La qualité du granulat

La qualité des matières premières assure également la qualité de l'ouvrage.

La chènevotte est le granulat végétal qui confère aux bétons et mortiers de chanvre leurs principales caractéristiques. Elle doit donc répondre à un cahier des charges précis (défibrage, contrôle de l'humidité, du taux de poussières, de la couleur, de la masse volumique et de la granulométrie).



Granulat chanvre bâtiment



La caractérisation de la chènevotte se fait selon les procédures du label « chanvre bâtiment ». Il est mis en place par Construire en Chanvre et Interchanvre, dans le but de garantir aux utilisateurs le respect des exigences de qualité.

Ce label est associé à un numéro d'agrément qui garantit la traçabilité par rapport à l'outil de production, au porteur de dossier et au produit. Le marquage des sacs avec le logo du label matérialise le niveau de qualité du granulat.

Plus simple qu'une norme, la mise en place du label permet un retour d'expérience sur le suivi des caractéristiques des granulats de chanvre. Il s'adresse en priorité aux transformateurs de chanvre et aux producteurs de liants.

Ce label s'inscrit dans une démarche globale de qualité définie dans les Règles Professionnelles d'Exécution d'ouvrages en bétons et mortiers de chanvre. Aussi vérifiez chez vos fournisseurs que la chènevotte qu'ils vous proposent est bien labellisée.

La chènevotte est un matériau végétal, issu de la biomasse, et dont les caractéristiques ne sont donc pas définies par des constantes.

Chaque année, on tolère une certaine variabilité des granulats. Cette variabilité est due entre autres, aux conditions météorologiques lors du cycle de croissance du chanvre.

Tome n°1 : bases pour Construire en Chanvre.

Sachant cela, les fabricants de liants et les chanvriers ont adapté leurs produits en conséquence.

Dans le cas de la chènevotte, les problématiques qu'elle peut générer sont aujourd'hui connues et maîtrisées.

Le label qualité « Chanvre Bâtiment » permet de s'assurer de six points essentiels :

- 1 Disposer d'une chènevotte 100% chanvre.
- 2 Limitation du taux de poussières (passant au tamis de 0,25)
- 3 Limitation du pourcentage de particules de couleurs non-conformes par analyse d'image.
- 4 Limitation du taux d'humidité des pailles
- 5 Vérification de la granulométrie par analyse d'image (mesure du LdMax)
- 6 Mesure de la masse volumique apparente du granulat

REMARQUE | Le code du label permet de connaître la chanvrière d'origine.

Préambule | Disposer d'une chènevotte 100 % chanvre défibrée est **INDISPENSABLE**.

IDÉE RECUE : on rencontre encore des professionnels qui prescrivent et recommandent l'utilisation de chènevotte fibrée en assurant que la présence de fibres agirait en complément mécanique au béton de chanvre. C'est loin d'être aussi simple et surtout cela pourrait s'avérer dangereux.



Chanvre non défibré



Chanvre défibré

En effet :

1 Il n'existe pas de justification scientifique prouvant que le liant mis en œuvre va bien adhérer sur une fibre de chanvre. Bien au contraire, les fibres vont rendre difficile le contrôle du ratio quantité de fibres/quantité de chènevotte/dosage en liant présent dans le mélange. La fibre risque d'engendrer un abaissement voire un effondrement des caractéristiques mécaniques du béton ou mortier fabriqué.

2 Grâce aux travaux de plusieurs laboratoires français, et au retour d'expériences chantiers mené par CenC, les principaux points de vigilance du chanvre sont connus et pris en compte dans les règles professionnelles.

Certains composés hydrosolubles présents dans la chènevotte le sont en plus grande quantité dans la fibre. Cela peut créer une incidence sur la cinétique de prise des liants. Potentiellement, on s'expose à des phénomènes de pulvérulence (farinage à l'intérieur des parois, manque de cohésion à cœur). **Depuis la mise en place du label et de la formulation, ce phénomène a disparu à condition que l'on respecte le cadrage des Règles Professionnelles.**

Si les chanvriers qui entrent dans le cadre réglementaire s'attachent à défibrer leur chanvre après récolte, c'est pour pallier aux inconvénients de la fibre. En effet, la fibre

de chanvre a la particularité de contenir des quantités importantes de polysaccharides extractibles. Ce sont des composés capables de se solubiliser en utilisant une partie de l'eau du mélange.

Ces composés sont principalement des pectines et des hémicelluloses susceptibles d'interagir **avec une pâte de liant minéral, pour modifier sa cinétique de prise ou sa prise elle-même.**

Les bétons de granulats d'origine végétale, application au béton de chanvre. Mécanique et ingénierie des matériaux, éd. Lavoisier.

% massique	Cellulose	Hemicelluloses	Lignine	Pectines	Cendres	Cires
Chènevotte [GAR 98]	18	12	28	6	2	4
Chènevotte [VIG 96]	44	18	28	2	2	1
Fibres de chanvre [GAR 98]	55	16	4	18	4	3
Fibres de chanvre [VIG 08]	55	16	4	14	4	1
Fibres de chanvre [SED 08]	56,4	10,9	6	201		7,9
Fibres de chanvre [TRO 08]	58,7	14,2	6	16,8		4,3

Ces pectines et hémicelluloses sont à l'origine de compétition hydrique avec les composés hydrauliques des liants.

- **Les hémicelluloses** : hydrophiles, gonflent au contact de l'eau et comportent des glucides potentiellement hydrosolubles.
- **Les pectines** : idem

En d'autres termes, une fois sèches, les parois peuvent être dures à l'extérieur mais à l'intérieur, le liant peut ne pas avoir fait prise et se trouver à l'état de poudre. Le béton de chanvre manque alors de cohésion et peut perdre ses caractéristiques mécaniques.

Éléments de réponse

1 Les liants cimentaires ou les chaux, une fois mélangés à l'eau, créent un pH fortement basique (13,5 pour le ciment Portland, 12,5 pour la chaux aérienne). Le contact du végétal avec un milieu très alcalin conduit à la solubilisation de polysaccharides extractibles.

2 Une quantité d'eau de gâchage plus importante induite par le chanvre fibré entraîne une plus grande dilution du liant et peut conduire à une diminution de sa résistance à l'état durci.

3 Une réaction chimique entre certains composés solubles (pectines et hémicellulose) de la chènevotte et le liant, peut pénaliser le durcissement.

« Au bilan, l'utilisation de chanvre fibré dans le béton de chanvre augmente la masse volumique apparente et dégrade sensiblement l'ensemble des caractéristiques mécaniques en compression. »

Julien Chamoin. Optimisation des propriétés (physiques, mécaniques et hydriques) de bétons de chanvre par la maîtrise de la formulation. Thèse de l'INSA de Rennes, 2013.

Au regard de ces éléments, on comprend qu'il est nécessaire d'utiliser une chènevotte défibrée par principe de précaution.

À ce jour, aucun essai concluant ne nous a été transmis concernant les couples avec chènevotte fibrée

REMARQUE |

- La formation de boulettes de fibres dans le mélange pénalise la projection machine en bouchant les tuyaux.
- Lors d'une expertise, il a été constaté qu'un béton de chanvre réalisé depuis plus de 20 ans sonnait creux à l'endroit où des boulettes étaient présentes dans le mur. L'extraction ces points singuliers a montré que la chaux était à l'état de poudre autour des boulettes, contrairement au reste du mur où la cohésion est restée bonne.



Chènevotte avec boulettes de fibre

Explication point 2 | Le taux de poussière (limite supérieure à 2%) **INDISPENSABLE**

Le contrôle du taux de poussières est très important pour garantir la cohésion dans les parois. La présence trop importante de poussières dans le chanvre peut potentiellement engendrer une mauvaise adhérence du liant sur le granulat et donc un mauvais enrobage de la chènevotte.

Le mur manque alors de cohésion et peut présenter des caractéristiques mécaniques plus faibles. En outre, les poussières peuvent être issues de débris de feuilles, également riches en sucres, ce qui pourra pénaliser les caractéristiques mécaniques.

Explication point 3 | Le pourcentage de particules de couleurs non-conformes (limite supérieure à 5%) **INDISPENSABLE**

La couleur des granulats peut influencer directement la qualité de l'ouvrage. Il y a trois types de couleur : les couleurs plutôt **vertes** montrant une chènevotte provenant d'un chanvre immature, et des couleurs plutôt **marron** provenant d'un problème de séchage (sur le champs...) par migration des tanins, voir des couleurs **noirâtres** liées aux moisissures.

Même si personne n'a encore confirmé une baisse des caractéristiques mécaniques des chènevottes ayant des couleurs, nous pouvons supposer que la présence de tanins, de moisissures, ou d'un manque de maturité du « bois » chènevotte, induit forcément des problématiques diverses. Le granulat chènevotte doit rester homogène. Le label permet de contrôler ces aspects.

Le label chènevotte fait donc partie d'un processus qualité nécessaire et indispensable, mis en place par la filière chanvre dans le but de sécuriser l'acte de construire en béton et mortier de chanvre.

Explication point 4 | le taux d'humidité (limite supérieure à 19 %)

Le taux d'humidité des pailles entrantes pour l'extraction des granulats de chanvre destinés au bâtiment doit être inférieur à 19%. La mesure a lieu sur site et permet de garantir que le béton confectionné ne présentera pas de phénomènes de gonflement/retrait. Le contrôle du taux d'humidité assure aussi la préservation des qualités du granulat après l'ensachage (limitation des risques de développement de moisissures, micro-organismes,...).

Explication point 5 | la granulométrie par analyse d'image

A partir de prélèvements réalisés sur site après ensachage, la grandeur LdMax (qui correspond à la borne supérieure de la longueur de 95% des particules) est déterminée. Sa variation par rapport à la valeur de référence ne doit pas dépasser 10%. La dimension Ldmax de référence est initialement choisie par les chanvrières.

Explication point 6 | la masse volumique apparente du granulat

La masse volumique apparente du produit est également mesurée sur site. On admet une tolérance à $\pm 15\%$ par rapport à la valeur de référence initialement choisie par les chanvrières. Elle permet de garantir une régularité des masses de chènevotte ensachées et mises sur le marché.

Ce point permet d'assurer le respect des paramètres de formulation (proportions des différents constituants) et d'obtenir des bétons et mortiers de chanvre de masse volumique régulière (critère essentiel à la maîtrise de leurs performances).



Label granulat de Construire en Chanvre

Les liants validés et adaptés à la chènevotte

De la même manière que de plus en plus de chanvrières sont aujourd'hui sous label et défibrent leur chènevotte, les fabricants de liants formulent certains de leurs produits ou préconisent l'utilisation de certains liants dans le but d'améliorer les performances des bétons.

On sait dorénavant grâce aux analyses en laboratoire que la chènevotte présente une capacité à pouvoir absorber entre 300% et 400% de sa masse en eau (partie II sur l'hygroscopie). Cette donnée est donc à prendre en compte lors de la formulation.

Vu cette capacité d'absorption de l'eau, on pourrait être tenté de vouloir saturer la chènevotte en eau. Cependant, ce n'est pas aussi simple.

En effet, il est primordial de respecter les quantités d'eau recommandées.

Le risque encouru est similaire à celui des taux de poussières.

Si l'on ajoute trop d'eau, on change les caractéristiques du béton obtenu.

En plus d'une dilution trop importante du liant, les granulats de chanvre peuvent potentiellement s'enrober d'une fine pellicule d'eau. La porosité à l'interface liant/granulat augmente alors.

La conséquence peut être une diminution des performances mécaniques des parois et une migration de cette eau vers le bas.

Si l'on ne met pas assez d'eau, le liant risque de ne pas être suffisamment hydraté, ce qui peut aussi diminuer les résistances mécaniques du béton.

La quantité d'eau dans le mélange est donc très importante à respecter.

Néanmoins, il existe un liant validé fonctionnant par mouillage de la chènevotte. En raison des caractéristiques bien particulières du ciment naturel, il est l'exception confirmant la règle.

Respecter les dosages en eau préconisés par les fabricants selon les produits est indispensable. Le type de mise en œuvre, projection ou manuelle, ne doit pas modifier les dosages des fabricants de liants, sauf s'ils donnent des indications précises.



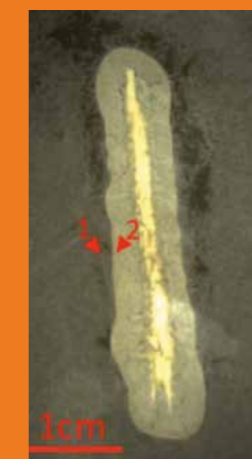
Chènevotte sortie d'usine

Avec la présentation réalisée sur les liants en préambule de cette partie, nous avons vu qu'il existe différents produits qui présenteront différentes caractéristiques mécaniques et thermiques. Connaissant maintenant la particularité de la chènevotte, on comprend que les bétons de chanvre ne peuvent pas fonctionner avec n'importe quel liant courant, existant sur le marché. C'est pour cela que les fabricants préconisent des produits spécialement adaptés aux bétons chanvre formulés ou non.

Chaux aérienne et chaux ayant des propriétés hydrauliques : vers la formulation des liants

- **Chaux aérienne pure** : les caractéristiques aériennes sont intéressantes en association avec le béton de chanvre. Cependant, les chaux aériennes types CL ou DL, peuvent difficilement être utilisées seules pour confectionner des bétons et mortiers de chanvre. En effet, le séchage se fait par carbonatation avec le CO_2 de l'air. Or, les bétons de chanvre fraîchement mis en place sont humides, et cette présence d'eau liquide au cœur de la paroi peut bloquer au début le transport du CO_2 à cœur. La carbonatation est moindre ou longue, et les caractéristiques mécaniques seront trop faibles pour satisfaire aux performances seuils exigées par les règles professionnelles.

- **Chaux ayant des propriétés hydrauliques** : on ne peut pas utiliser n'importe quelle chaux hydraulique. En effet, la prise étant majoritairement hydraulique, la chènevotte par son absorption d'eau importante peut potentiellement entrer en compétition avec la cinétique de prise du liant. La quantité d'eau de gâchage nécessaire, plus importante, peut conduire à une dilution du liant entraînant une diminution de ses caractéristiques mécaniques.



Particule de chènevotte dans une matrice cimentaire, visualisation de l'auréole de transition montrant la zone où le liant fait une fausse prise (zone 2) et où il présente une prise normale (zone 1) [DIQ12].

[DIQ 12] DIQUELOU Y., GOURLAY E., ARNAUD L. and KUREK B., *The impact of hemp shiv on cement setting and hardening : the influence of extracts and study of the interface*, in : IBCC2012 Int. Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference Proceedings, Canberra Australia, 12-13 Sept. 2012, Edt T. Cooke & H. Thygesen, 2012, pp. 41-50.



REMARQUE | Le béton de chanvre est un matériau très poreux dans lequel les échanges avec l'extérieur sont favorisés une fois la paroi sèche. La carbonatation pourra alors se faire correctement car le CO_2 devient facilement transportable à cœur. Dans la formulation des liants, le caractère aérien apporte une finesse plus élevée et donc une capillarité intéressante (cf partie II porosité).

Liants formulés et liants validés - les couples liant/granulat :

La prise hydraulique permet d'avoir rapidement des résistances mécaniques suffisantes conformément aux performances seuils énoncées dans les règles professionnelles.

Les bétons et mortiers de chanvre nécessitent des liants adaptés à la fois à la mise en œuvre (manuelle ou mécanique) et aux caractéristiques intrinsèques du granulat de chanvre.

Les caractéristiques aériennes donneront un séchage par carbonatation progressif, lentement, et apporteront aux parois finesse et porosité élevée (cf partie II : hygrométrie). Sachant également que certains liants naturels et non formulés peuvent fonctionner car ils présentent un juste équilibre naturel dans leur composition (ciment et certaines chaux hydrauliques que l'on retrouve sur la liste des couples liants/granulats disponible auprès de CenC).

Dans tous les cas, on n'utilisera pour la confection des bétons et mortiers de chanvre que des couples liant/granulat ayant satisfait aux performances seuils énoncées dans les règles professionnelles et disponibles auprès de CenC.

REMARQUE | les mélanges de liants sur chantiers ont pu engendrer certains désordres et sont aujourd'hui proscrits car hors cadre réglementaire. De plus les chantiers ainsi réalisés sont difficilement assurables.

En accord avec les règles professionnelles, tout couple liant/granulat chanvre conforme doit faire l'objet de tests de validation respectant les protocoles d'essais pour la mesure des performances seuils (cf règles professionnelles et site internet de CenC). Le protocole d'essai est un cadre strict. Celui-ci aura l'occasion d'évoluer pour intégrer des nouvelles exigences de la réglementation thermique. Toute mise en œuvre doit également respecter les bonnes pratiques.

Mélangée au liant, la chènevotte permet de confectionner des mortiers et des bétons aux caractéristiques spécifiques uniques.

Important : La comparaison entre les granulats végétaux chanvre et les granulats minéraux type sables (0/2 ou 0/4 par exemple) est impossible du fait de la déformabilité des granulats végétaux.

Il est indispensable d'utiliser un couple liant/granulat répondant aux critères précédemment évoqués.

Les critères du label « chanvre bâtiment » font qu'ils existent un couple liant/granulat pour chaque chènevotte ou liant validés.

On ne peut pas actuellement croiser les lignes du tableau.

C'est à dire qu'utiliser une chènevotte labellisée avec un autre liant que celui figurant sur la même ligne du tableau n'est aujourd'hui pas possible. De même, changer de numéro d'origine de chènevotte pour un même liant est proscrit.





Il existe en effet une variabilité des granulats labellisés dans les différentes chanvrières. Cette variabilité peut ne pas être sans conséquences sur les performances structurelles du béton de chanvre ainsi constitué.

Un travail de simplification du label doit être programmé pour faire évoluer ce point.

Construire en Chanvre devrait étudier cette variabilité dès que les données sur les couples seront suffisamment étayées.

Dans tous les cas, il est nécessaire de respecter les couples liant/granulat figurant sur le tableau en annexe et disponible sur construire-en-chanvre.fr et de se référer aux fabricants de liants selon les types de mises en œuvre (machine ou coulage manuel).

Béton de chanvre : pour être bien assuré il faut

	Utiliser une chènevotte labellisée	Utiliser une chènevotte labellisée assure une qualité des matières premières
	Utiliser un couple liant/granulat validé	Liste des couples et laboratoires accrédités sur http://construire-en-chanvre.fr
	Avoir suivi une formation	Session de formation tous les deux ans avec formateurs agréés Construire en Chanvre.
	Respecter les règles professionnelles	Règles validées par l'agence Qualité Construction en 2012 (toit, mur, sol, enduit)

Préconisations

de mise en œuvre, ce qu'il faut savoir

Après avoir vu l'importance du processus qualité CenC sur les produits, nous allons voir l'importance de la maîtrise des conditions de mise en œuvre : impact de la météo, du climat selon la zone géographique et de la prise en compte dès la conception et pendant le chantier de tous ces paramètres, respect des temps de séchage et prise en compte du caractère plus ou moins tendre du béton de chanvre et son influence sur les finitions intérieures et extérieures.



Les conditions climatiques et géographiques

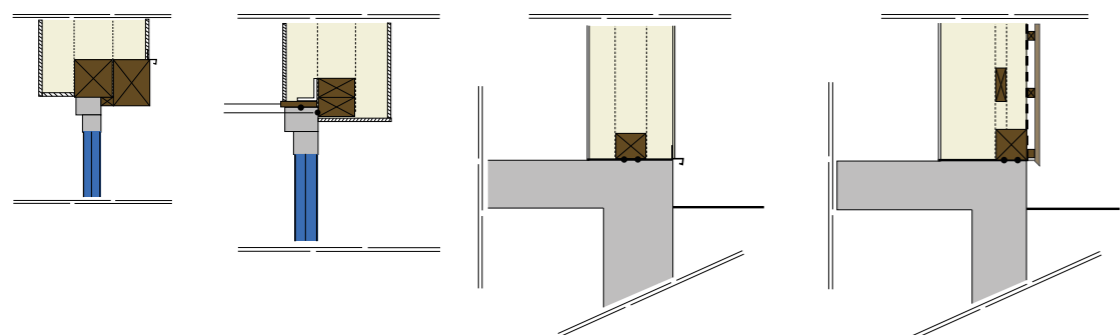
Dans le cas d'ouvrages sur plusieurs niveaux et exposés, il pourra être envisagé d'utiliser une protection sur toute la façade du bâtiment.

Le béton de chanvre peut être considéré comme un aimant vis-à-vis de l'eau, ce qui lui donne ses qualités hygrothermiques très intéressantes. Cela implique d'avoir une mise en œuvre très qualitative au niveau de la conception, comme de l'exécution, et particulièrement soignée sur les façades exposées aux pluies battantes, et au vent.

Comme tout système constructif, la mise en œuvre du béton de chanvre dépend du climat et du terrain.

On recommande par exemple de travailler le plus possible à couvert, sur un chantier déjà hors d'eau. Ossature et bâchage déjà en place avec des débords de toiture pensés selon la zone géographique :

- **Façade exposée sur le littoral** = protection contre les pluies battantes et les projections type « Karcher » au niveau des pieds de murs.



Exemple de résolutions schématiques (Règles Professionnelles).



©BCB Tradical® - NXNW architectes - © photo F. Renard



© Nathalia Troyes

Exemple : immeuble rue Myrha et maison du tourisme de Troyes.

Dans le cas de façades exposées, il est conseillé de protéger le béton par un gobe-tis, ou une protection provisoire. Il peut y avoir reprise d'eau et de gonflement des bois, pouvant entraîner des tensions dans l'ossature et des fissures dans le béton de chanvre et les enduits (cf. partie I les bois d'ossature).

D'où la nécessité d'une protection sur les façades exposées et celles qui n'ont pas de débord.

- **Préconisations sur les pieds de murs** dans les cas de la rénovation et du neuf. À savoir le drainage périphérique, les ruptures capillaires entre soubassement et béton de chanvre, le rejingot pour l'eau de pluie sur façade, la hauteur de garde au sol minimum > 20 cm qui doit être soignée...

- **Attention à la neige** selon les régions où les ouvrages sont construits, notamment pour les cas d'enneigement durable potentiel au niveau des pieds de murs. La neige ne doit pas être en contact prolongé avec les pieds de mur. Il convient alors de penser l'architecture en fonction. La création d'un planning spécifique aux projets en béton de chanvre est nécessaire.





Les données sur le temps de séchage

Les chantiers ne sont pas plus longs que d'autres systèmes constructifs conventionnels, mais ils demandent une chronologie différente, adaptée à l'ouvrage, à sa destination et au matériau.

Ces durées de séchage sont en plus conditionnées par :

Le temps de séchage des parois en béton de chanvre est une question récurrente. L'eau du mélange formant le béton met en effet plus ou moins de temps à s'évacuer.

- **Le type de mise en œuvre** : projection machine ou coulage manuel.
- **Le degré de compactage** (un compactage trop important peut bloquer l'eau du mélange à l'intérieur des murs et retarder leur séchage).
- **Le choix du liant validé utilisé**, en fonction de ses caractéristiques et de sa composition (voir avec les fabricants).
- **La température et l'humidité** relative des conditions de cure du mélange liant/chanvre.
- Ou encore les caractéristiques géométriques et qualitatives des granulats chanvre.
- Le climat et la période de mise en œuvre.

Les ordres de grandeur à retenir pour le séchage des bétons et mortiers de chanvre varient selon les produits, les mises en œuvre et les finitions :

Ces ordres de grandeur dépendent de la région, du climat (hiver, été...) du vent, de l'exposition des façades, mais aussi des éléments permettant d'accélérer le séchage, comme la ventilation...

- 2 cm par semaine dans le cas de mur neuf (séchage des deux côtés du mur) soit environ 4 mois pour 35 cm d'épaisseur.
- 1 cm par semaine dans le cas de doublage isolant selon la perméance (cf partie ii) du mur support (séchage principalement d'un côté du mur).
- 1 cm pour une semaine dans le cas de sol avant pose d'un revêtement.

- Dans le cas d'une mise en œuvre toiture, les mélanges étant peu dosés en eau et en liant, les temps de séchage ne sont pas problématiques.

Il conviendra d'analyser le moment propice pour réaliser les finitions, intérieures, comme extérieures.

Il ne s'agit pas d'attendre un séchage complet, pour faire les finitions, mais d'avoir un séchage superficiel sur une certaine profondeur avant d'appliquer les couches définitives de finition. Certains enduits utilisés comme gobetis peuvent, s'ils ne sont pas assez perméables, ralentir le séchage. Une finition perméante et souple pourra faire gagner un peu de temps sur le séchage. Une finition de type terre cuite au sol, pourra participer à l'évacuation de l'humidité.

Une finition carrelage nécessitera un séchage plus long et des joints plutôt larges pour continuer à évacuer l'humidité.

Il conviendra donc d'adapter le planning en fonction des corps d'état. Pendant la période de séchage de l'enveloppe, la planification des autres corps d'état devra se faire en toute connaissance de cause. Il faudra par exemple, vérifier les taux d'humidité intérieure avant de poser les parquets.



REMARQUE | un gobetis à fresco peut être fait en extérieur sur le mur en béton de chanvre frais. Le gobetis permet d'assurer une première protection à l'eau liquide (intempérie, projection,...) et ainsi éviter une reprise d'humidité du béton de chanvre qui rallongerait son temps de séchage.

On retiendra tout de même qu'un ouvrage en béton de chanvre nécessite plusieurs mois avant de stabiliser son hygrométrie, **en raison du temps nécessaire au séchage des parois.** Les performances hygrothermiques optimales seront atteintes environ une année après réception de l'ouvrage.

Ce point dépend bien sûr de la région et du climat où se situe le projet.

C'est pour cette raison et du fait de la carbonatation plus ou moins lente que l'on dit que les ouvrages en béton de chanvre se « bonifient avec le temps », certains parlent de pétrification. **Il s'agit de carbonatation à cœur de la partie aérienne du liant.**



Support tendre à semi-tendre selon les dosages

Mise en œuvre des revêtements

Le béton de chanvre est un matériau à faibles caractéristiques mécaniques.

Ces faibles valeurs seront un avantage car elles permettent aux ouvrages de tolérer de plus ou moins grandes déformations.

Sa relative déformabilité est liée à la structure poreuse de son granulat. Contrairement à des bétons constitués de granulats minéraux incompressibles, le béton de chanvre « est quasi élastique pendant la première partie de la compression ».

Même une fois sèches, les parois en béton de chanvre conservent des propriétés mécaniques peu élevées ce qui leur donne cette caractéristique intéressante de pouvoir « subir des tassements différentiels, se contracter ou se dilater sans présenter de fissuration apparente »*.

Cependant, comme le souligne l'AQC, le cisaillement du support peut se rencontrer sur les supports à faibles caractéristiques mécaniques. Il est dû à l'application d'un enduit inadapté à ce type de support.

Cette qualité de support souple doit être prise en compte dans les projets, lors du choix des finitions intérieures et extérieures.

Objectif de cette partie :

On serait tenté de dire : à chaque support son enduit. Ce n'est pas si simple, car les désordres d'aspect esthétique comme les microfissurations peuvent avoir des origines diverses.

Le but de ce qui suit est de prévenir des désordres qui pourraient survenir sur les revêtements intérieurs et extérieurs du bâti en donnant quelques points de contrôle.

REMARQUE | Les qualités esthétiques et mécaniques d'un enduit dépendent en partie de la qualité, du type et du choix des sables et liants. La mise en œuvre, les conditions climatiques ou les conditions de vie de l'ouvrage, par exemple, ont une part à jouer sur la tenue des revêtements. Cette partie vise à prévenir des risques potentiels liés au caractère semi-tendre du béton de chanvre. Les risques sont peu fréquents si les règles sont respectées. Cependant, lorsqu'un défaut survient, il est intéressant de l'analyser pour identifier son origine. C'est ce qui a été fait lors du suivi du retour d'expériences mené par CenC à la demande de l'AQC. Au travers de cette partie, nous nous sommes concentrés sur des points qui nous semblaient primordiaux, car faciles à éviter.

*Les bétons de granulats d'origine végétale, application au béton de chanvre, Sofiane Amziane et Laurent Arnaud, éd. Lavoisier, 2013.



REMARQUE | les garanties légales pour les revêtements sont de deux ans pour l'aspect et de 10 ans pour leur fonction (adhérence...) (cf Les sables et les chaux dans les enduits). Dans tous les cas, on veillera à respecter le DTU 26-1, la norme NF EN 459 - 1 et surtout les Règles Professionnelles de construction en béton et mortier de chanvre.

Tout ce qui précède est essentiel pour comprendre que travailler avec le béton de chanvre, c'est travailler sur un support semi-tendre. Par conséquent, comme pour le bâti ancien par exemple, le choix et la mise en œuvre des enduits doivent être réfléchis.

DTU 26-1 | « la résistance mécanique du support conditionne le choix de l'enduit. Il ne faut pas réaliser un enduit dur sur un support de maçonnerie tendre ou fragile ». Nous rajoutons à cela que les caractéristiques de tendreté et de perméance du support conditionnent également le choix de la finition.

Qu'est-ce qu'un matériau semi-tendre ?

Dans cet ouvrage, nous qualifions le béton de chanvre comme support tendre à semi-tendre selon les dosages et au sens du DTU 26-1. La valeur basse de son module d'élasticité est à prendre en compte comme une qualité du matériau, qui peut conforter les ossatures dans le cas de sollicitations horizontales par exemple.

Définition du module d'élasticité :

Lors des essais réalisés dans les laboratoires accrédités CenC, le béton de chanvre est soumis à une contrainte mécanique de compression. Cet essai mesure deux données :

- 1. La résistance mécanique** à la compression en MPA, qui renseigne sur la capacité du matériau à recevoir une certaine charge avant rupture.
- 2. Le module d'élasticité** : lorsqu'il est soumis à une contrainte, un matériau commence par se déformer de manière élastique. Si la contrainte s'arrête, le matériau reviendra à sa forme initiale sans avoir commencé à se fissurer.

Plus le module d'élasticité est faible, plus le matériau sera élastique et acceptera la déformation.

C'est une qualité du béton de chanvre face aux contraintes que peut subir un ouvrage tout au long de sa vie.

REMARQUE |
La valeur du module est proportionnelle à la contrainte exercée.

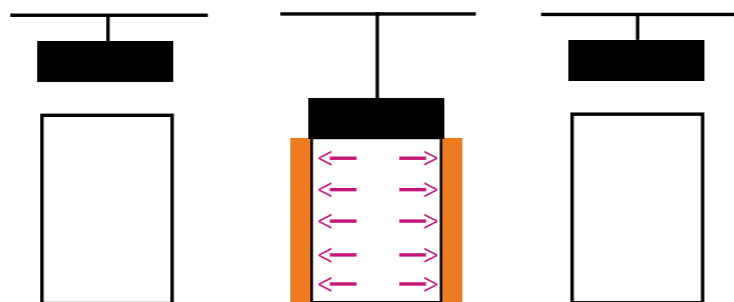


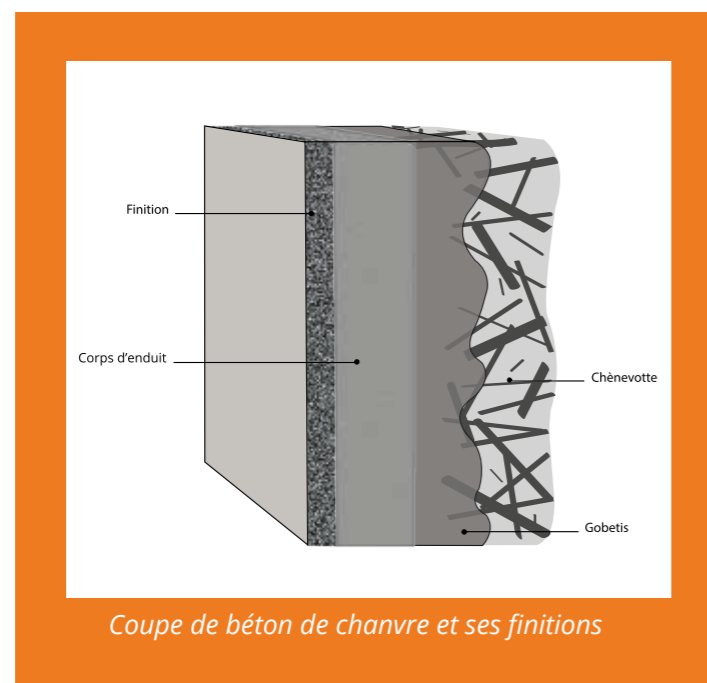
Illustration de l'élasticité du béton de chanvre

APPLICATION | dans le cas d'un empilement de matériaux mécaniquement distincts (support + enduit par exemple), c'est le matériau le plus tendre, le plus élastique, qui subira le premier les déformations.

Dans le cas d'une paroi en béton de chanvre enduite, c'est le béton de chanvre qui se déformera le premier. Il est donc nécessaire que l'enduit puisse s'adapter au mouvement du mur.

Si l'enduit se déforme beaucoup moins que son support, alors il y a risque potentiel de désordre.

Cette remarque n'est pas propre au béton de chanvre. Elle reste valable pour tous les supports selon leur niveau d'élasticité.



Coupe de béton de chanvre et ses finitions

Pour mettre des valeurs sur cette notion de semi-tendreté et d'élasticité, nous allons voir ce que l'on peut faire et comment.

Techniquement la couche la plus concernée est celle qui est en contact avec le support, sous la finition. C'est elle qui peut subir les déformations visuelles type microfissurations.

Dans le cas du béton de chanvre, il n'est pas nécessaire d'utiliser un enduit de résistance mécanique élevée, au contraire. Cependant, l'enduit doit être perméable à la vapeur d'eau (voir partie II sur l'hygrothermie) et présenter une certaine souplesse. La notion de souplesse de l'enduit peut être illustrée par le module d'élasticité que l'on retrouve dans les Règles Professionnelles. Nous avons vu que **plus la valeur du module d'élasticité d'un matériau est faible, plus le matériau est élastique.**

REMARQUE | l'élasticité des mortiers baissera avec l'augmentation de la résistance mécanique et les transferts d'humidité diminueront*.

*Maisons Paysannes de France, Luc Van Nieuwenhuyze, formateur et applicateur CenC.

L'élasticité est donc importante pour illustrer la capacité de la finition à s'adapter aux contraintes dimensionnelles inhérentes à son support, pour le bâti en général :

les chocs thermiques, la résistance au vent, le tassement, les déformations liées à l'ossature, les séchages et retraits (pour les bois d'ossature et le béton de chanvre), les problèmes de cohésion dans le cas du bâti ancien, les zones sismiques...

Si le mur en béton de chanvre se comportera très bien face à ces sollicitations, **il doit en être de même pour sa finition.**

Matériaux	E (module d'élasticité à 90 jrs)
Béton de chanvre	± 30 MPa
Béton armé	$20 \text{ GPA} \leq E_{BA} \leq 50 \text{ GPA}$
Enduit ciment	± 20 000 MPa
Mortier de chanvre	± 80 MPa
Terre crue stabilisée	$1000 \leq E_{TC} \leq 2000 \text{ MPa}$
Terre non stabilisée	$100 \leq E_{TC} \leq 500 \text{ MPa}$
Plâtre	± 4500 MPa
Sable / Chaux (NHL 5)	± 21 500 MPa
Sable / Chaux (NHL 2)	± 13 500 MPa

Exemple des chocs thermiques |

Les variations de températures jour/nuit peuvent parfois atteindre plusieurs dizaines de degrés.

En surface des enduits comme à l'intérieur, ces deltas de températures s'accompagnent aussi de variations d'humidité relative forte (partie II sur l'hygrothermie).

Quel que soit le système constructif, les murs d'un ouvrage sont soumis à des chocs thermiques importants. Or ces chocs peuvent dans certains cas être à l'origine de microfissurations voire de fissurations.

« Sous l'effet du choc thermique hivernal, la baisse de température dans un élément ayant des liaisons (au sens de la résistance des matériaux) entraîne un raccourcissement potentiel contrarié qui engendre par conséquent une contrainte interne de traction [...] La fissuration a souvent pour origine une contrainte de traction interne, dans le matériau, supérieure à la contrainte de rupture de celui-ci. »

Pathologie de l'humidité. Parois revêtues en bâtiment. Paul Dahan, ingénieur ETP, ex-professeur à l'ESTP.

Or plus un enduit présente un caractère élastique (module d'élasticité faible) plus les contraintes de tractions internes qu'il pourra subir seront faibles.

Cet exemple sur les chocs thermiques illustre et renforce la nécessaire prise de conscience qui doit avoir lieu lorsque l'on construit en béton de chanvre. Le matériau ayant une forte capacité d'adaptation aux contraintes dimensionnelles, le choix de l'enduit et sa mise en œuvre doivent être faits en conséquence. **On privilégiera donc des enduits souples, en respect des caractéristiques mécaniques du béton de chanvre énoncées plus haut.**

SPECIAL RÉNOVATION |

Le béton de chanvre en comparaison avec des matériaux plus conventionnels est souple. Cette souplesse rend son utilisation très pertinente dans certains cas, notamment en rénovation du bâti ancien.

Les enduits chanvre présentent une déformabilité plus importante que d'autres types d'enduits. Dans le cas de supports traditionnels, types murs maçonnés en pierre, qui souvent présentent des manques de cohésion, l'utilisation d'un enduit chanvre est donc doublement recommandée :

- 1 Correction hygrothermique du phénomène de paroi froide, respect des transferts hydriques et de l'inertie du mur (voir partie II sur l'hygrothermie)
- 2 Limite le risque de fissuration du revêtement par la grande déformabilité de l'enduit chanvre (module d'élasticité faible).

L'enduit de finition (type sable/chaux par exemple) mis en œuvre sur un béton de chanvre doit être adapté en conséquence. Si l'on voulait comparer le béton de chanvre à un support existant, on pourrait assimiler sa semi-tendreté à celle des murs en pisé ou bauge. Dans ce cas, si l'on se réfère à l'ouvrage « Les sables et les chaux dans les enduits », on devrait s'arrêter à l'utilisation d'une chaux hydraulique de type 2 et être réservé quant à l'utilisation de liant aux hydraulicités supérieures. Car ils pourraient présenter des caractéristiques mécaniques trop élevées vis à vis de celles d'un mur en béton de chanvre.

REMARQUE | Nous l'avons vu avec la présentation de la norme EN-459, une chaux de construction classée 2 peut présenter des résistances mécaniques à la compression allant de 2 à 7 MPA. Pour une chaux classée 3,5 la fourchette varie de 3,5 à 10 MPA. Par conséquent, la première pourrait potentiellement être plus résistante que la seconde.

En prenant certaines précautions, il est toujours possible de travailler avec des enduits ayant des caractéristiques mécaniques supérieures à celles du béton de chanvre.

Mais dans ce cas, la mise en œuvre devra se faire en conséquence et en connaissance à savoir l'application d'un enduit dit « a fresco » sur du béton de chanvre et l'attente du séchage quasi complet des parois avant d'appliquer le corps d'enduit ou encore l'utilisation de trame en façades et dans les zones où les efforts transmis à l'enduit peuvent être importants (angles des baies et des murs, etc).

Dans tous les cas, il faudra veiller à respecter les préconisations apportées par les fabricants et toujours garder à l'esprit ces **caractères tendres à semi-tendres et perméants** des parois qui donnent beaucoup de qualité aux ouvrages en béton de chanvre mais qui nécessitent des préconisations adaptées.





Fixation d'éléments intérieurs et extérieurs

La fixation d'éléments peut se faire aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur des ouvrages.

Selon la destination du bâtiment, on pourra être amené à fixer des volets, stores, pergola, garde corps, tringles, plinthes, éléments de mobiliers intérieurs type cuisine, tableaux, cadres, etc.

On peut se poser la question de la reprise de ces charges par le béton de chanvre, principalement en dosage mur.

Selon les charges associées aux éléments que l'on souhaite fixer au mur, les dispositions ne seront pas les mêmes.

Si l'ossature est noyée, dans ce cas en phase conception de l'ouvrage, le maître d'œuvre avec son client devra prévoir l'emplacement de certains éléments structuraux en fonction de leur utilité future.

Cette réflexion se fera le plus souvent pour des éléments type mobiliers de cuisine lorsque ceux-ci sont sur des murs enveloppe, ou encore des volets fixés sur des pans de bois apparents extérieurs, des garde corps idem, des plinthes au niveau du sol, etc.

Dans le cas de fixation sur l'ossature bois, si celle-ci est apparente côté intérieur ou côté extérieur, le problème est résolu.

Il est en effet plus facile de concevoir un projet avec des cadres en bois apparents autour des baies, eux-mêmes fixés sur l'ossature.

Les charges lourdes nécessitent une adaptation particulière (meubles de cuisine, volets battants...). Les charges légères types tableaux et petits mobiliers peuvent se fixer directement dans l'enduit à l'aide de chevilles.



Pans de bois extérieur



Cimaises bois intérieur



Pans de bois intérieur

Les bois d'ossature mise en œuvre, ce qu'il faut savoir

Les chapitres précédents ont permis de mieux appréhender les caractéristiques mécaniques du béton de chanvre, qui lui confèrent des propriétés très intéressantes lors de sollicitations.

Cependant, les faibles valeurs de résistance à la compression des formulations murs permettent au béton de chanvre d'être autoporteur, mais ne lui donne pas encore les capacités mécaniques de pouvoir porter un plancher ou une charpente, par exemple.

Le béton de chanvre est donc un matériau structural non porteur de remplissage fonctionnant avec une ossature (certains industriels travaillent sur des formulations de béton de chanvre porteur, mais ce n'est pas traité dans cet ouvrage).



Tout ce qui suit est en conformité avec la norme NF DTU 31.1 et 31.2, l'EUROCODE 5 et avec les règles professionnelles de construction en béton et mortier de chanvre en vigueur.

Lorsque l'on parle d'ossature rapportée au béton de chanvre, le plus souvent, il s'agit de bois de construction, il peut aussi s'agir de d'ossature métallique ou en béton armé.

Ce chapitre a pour but de renseigner sur les précautions de mises en œuvre et sur les points de contrôle à connaître lorsque l'on construit en béton de chanvre sur une ossature en bois.



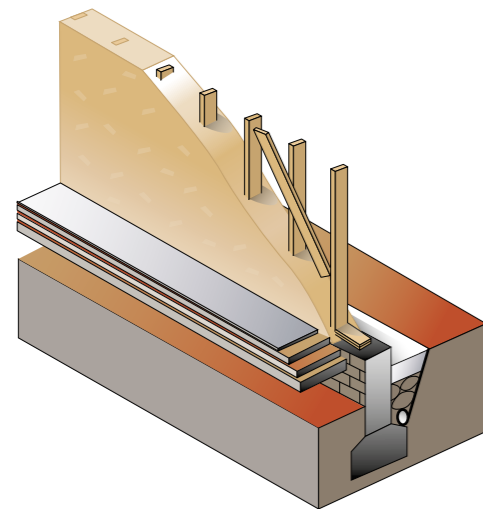
Les classes des bois pour les ossatures et charpentes

Les bois d'ossature sont aujourd'hui regroupés en 5 classes d'emplois. Dans le cadre du béton de chanvre, nous nous intéresserons aux classes d'emplois 2, 3 et 4, à savoir :

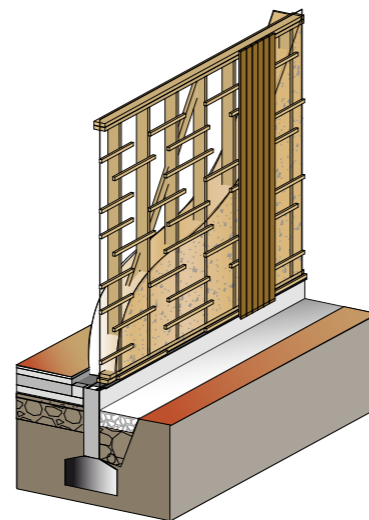
- **Classe 2** : cela concerne les bois à l'intérieur, ou sous abri. Ils ne sont pas sujets à des pluies et il peut y avoir condensation d'eau.
- **Classe 3** : les bois de cette classe sont destinés à être en contact avec l'extérieur, donc sujets aux intempéries. Par contre, ils ne doivent pas être en contact avec le terrain. Et ils doivent surtout garder une humidité < 18%. (cf. partie sur le contrôle de l'humidité).
- **Classe 4** : ces bois sont destinés à être à l'extérieur et peuvent être en contact direct avec le sol et l'eau de pluie.

Conformément aux Règles Professionnelles

- Dans le cas d'une ossature noyée ou recouverte, les bois seront au minimum de classe de service 2.
- Dans le cas d'une ossature apparente en extérieur, les bois seront au minimum de classe de service 3.



Ossature noyée



Ossature intérieure

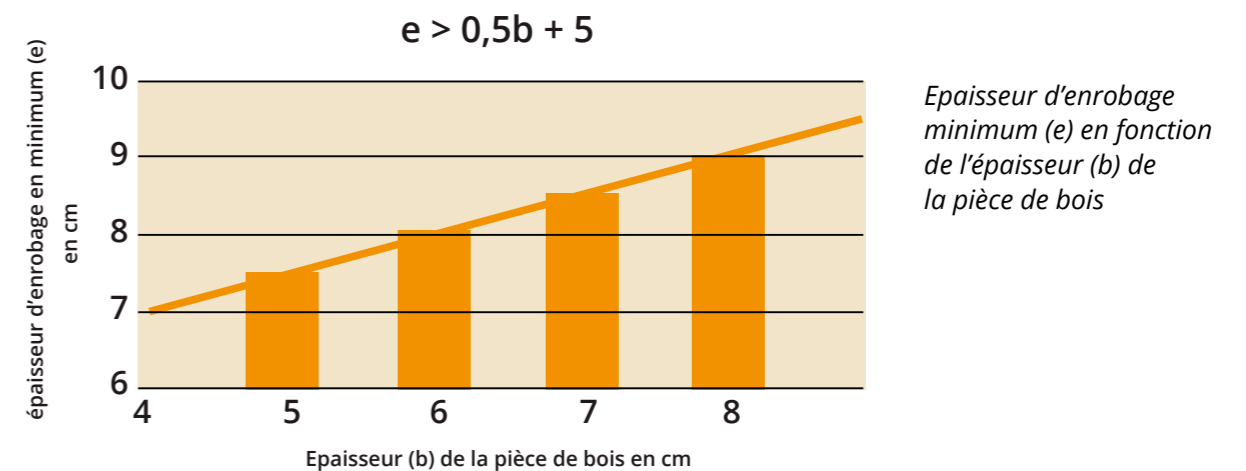
Certains prescripteurs demandent l'utilisation d'un bois classe 4 pour la sablière basse, en raison du risque potentiel d'une humidité stagnante suite à un désordre de plomberie ou d'infiltration (fenêtres, baies, appuis, dégât des eaux...). L'eau descendant par gravité, la sablière peut alors être sollicitée.



Enrobage des bois Ossature noyée

En conformité avec les Règles Professionnelles, il est nécessaire de respecter l'épaisseur d'enrobage minimum des bois d'ossature. Ce point, détaillé dans le livret MUR des règles professionnelles, mérite un bref rappel. En effet, on retrouve encore des fissures verticales, au droit des poteaux, dans le cas d'ouvrages où la règle sur l'enrobage n'a pas été respectée.

La fonction affine



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



Fissuration au droit d'un poteau



Réception des bois d'ossature Contrôle d'humidité

Une attention toute particulière sera apportée au contrôle de l'humidité dans les bois d'ossature. En effet, si nous reprenons les caractéristiques des bois de classe de service 2, en accord avec le DTU 31.1, il faut que le bois en service ait une humidité ne dépassant pas 18%. En charpente, ce taux peut éventuellement monter à 22%.

Pourquoi est-il important de respecter ces valeurs et quels sont les moyens de contrôle ?

La construction en béton de chanvre rencontre sur ce point là les mêmes préconisations techniques que pour les maisons en ossature bois. Sur le plan de l'ossature, la capacité des bois à absorber plus ou moins d'eau pourra induire des phénomènes de gonflements de ceux-ci. Ces gonflements sont rares, mais il est tout de même nécessaire de donner quelques éléments de réponse et des moyens pratiques pour les éviter.

ORIGINE |

Les variations dimensionnelles des bois d'ossature sont connues des constructeurs. Cette instabilité dimensionnelle de l'ossature peut potentiellement engendrer des désordres, notamment sur les finitions. A l'origine de cette instabilité : les hémicelluloses du bois.

Ces composés hydrophiles gonflent au contact de l'eau. Selon les essences de bois mises en œuvre, ce gonflement est plus ou moins important.

Le béton de chanvre est un matériau élasto-plastique, qui tolère et s'adapte aux variations dimensionnelles. Seulement, les problèmes liés à une instabilité dimensionnelle pourraient se voir sur les finitions (cf. chapitre semi tendreté du béton de chanvre) ou pourraient fragiliser l'étanchéité à l'air de l'ouvrage.

De plus, le taux d'humidité des bois semble avoir un effet sur leur capacité à reprendre une partie de l'eau du béton de chanvre lors de son séchage.

Il est donc important de contrôler que le taux d'humidité des bois ne dépasse pas ou peu les 18% recommandés.



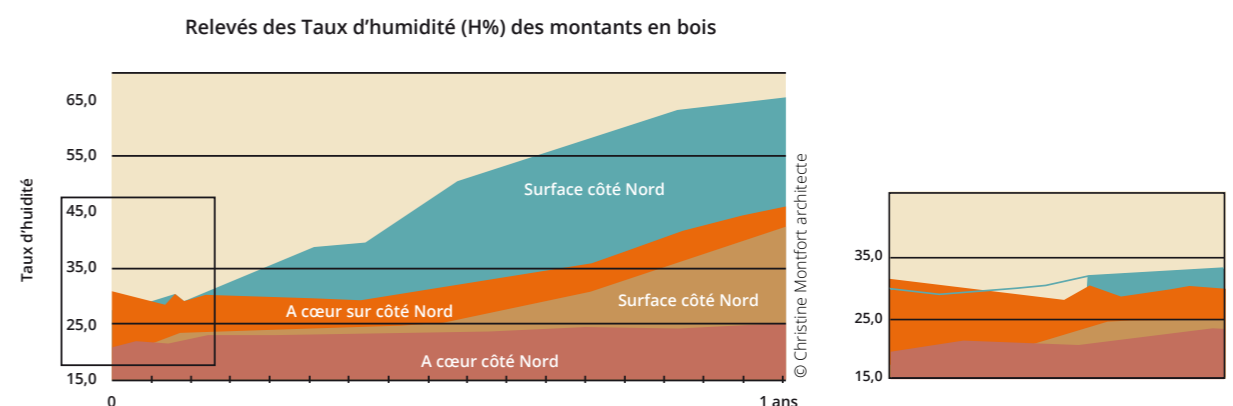
Caractère hydrophile

Incidence du béton de chanvre

Suite à une instrumentation réalisée dans l'Ouest sur un ouvrage de type maison individuelle, nous avons pu observer l'évolution des taux d'humidité à cœur et en surface des bois d'ossature pour les quatre orientations.

En surface : on constate que les bois reprennent peu l'humidité du béton, ce qui est normal, et non problématique. Les niveaux d'humidité finissent par se stabiliser dans le temps.

A cœur : on observe une reprise d'humidité des bois quasi nulle sauf pour les bois qui présentaient au montage, une humidité relativement élevée à cœur et en surface. L'humidité d'origine élevée dépasse les 30% pour un des bois instrumentés, hors DTU bois.



Après cette observation, nous arrivons à la conclusion suivante : plus les bois sont humides à l'origine, plus ils seront potentiellement susceptibles de reprendre l'humidité des parois.

Cette observation n'est peut être pas systématique, et l'association Construire en Chanvre souhaite mener plus d'investigations sur ce point. Il est nécessaire de renforcer ce contrôle de l'humidité des bois, sur chantier, avant la mise en œuvre du béton de chanvre.

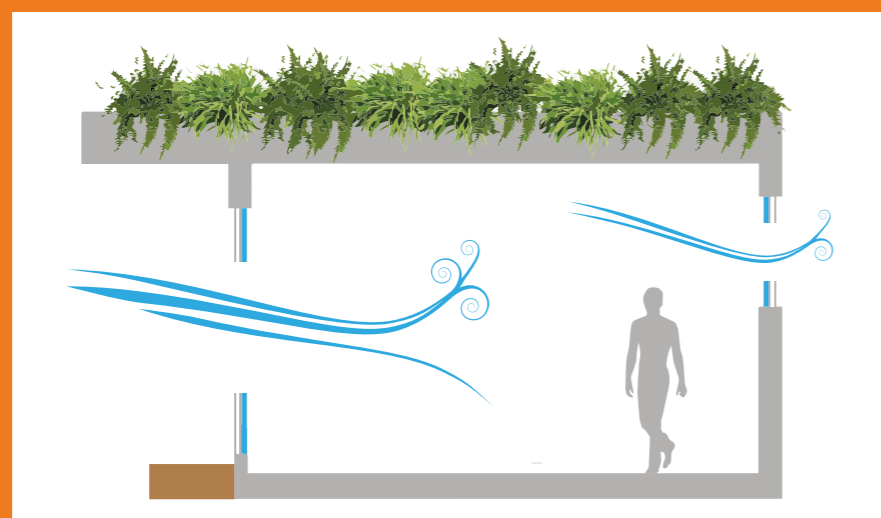
S'assurer d'une humidité inférieure ou égale à 18% des bois d'ossature permet :

- de prévenir d'éventuelles microfissures des finitions liées à de l'instabilité dimensionnelle.
- de pérenniser la qualité de l'étanchéité à l'air.
- d'augmenter la résistance du bois aux attaques fongiques et aux insectes.

Moyens de contrôle et de prévention

Les moyens de prévention sont similaires à ceux mis en place par la filière bois construction :

- **Une fois les bois réceptionnés** sur chantier, il convient de les mettre à l'abri des intempéries pour les garder au sec.
- **Lors du stockage**, s'assurer que les extrémités des éléments sont bien protégées. L'eau a en effet tendance à mieux pénétrer le bois au niveau des coupes qu'au niveau des fibres parallèles.
- **Dans le cas de bois apparents en extérieur** remplissant la fonction de colombage, des débords de toiture réfléchis pourront être mis en place.
- **Ventiler au mieux le chantier pour sécher** les matériaux et éviter des reprises d'humidité.
- **Avant de mettre en place l'ossature**, il sera nécessaire de réaliser un double contrôle (entreprise, architecte). Dans le cas où l'humidité des bois n'est pas conforme, les risques encourus ont été cités ci-dessus. Ce contrôle peut se faire à l'aide d'un humidimètre gamme bois, ou testeur d'humidité.



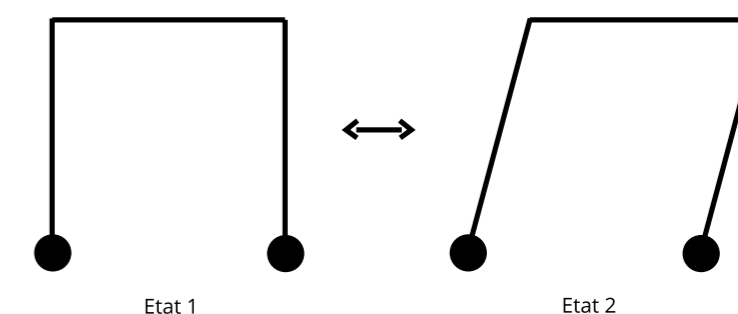
Nécessité de ventiler sur chantier

Complémentarité à l'ossature bois

Quels types de contreventement faut-il pour le béton de chanvre ?

En construction neuve principalement, les épaisseurs de béton de chanvre mises en œuvre peuvent être supérieures à 30 cm, pour satisfaire à la réglementation thermique.

Même si ses caractéristiques mécaniques sont faibles, sur de telles épaisseurs, l'apport structurel du béton de chanvre à l'ossature bois n'est pas négligeable et pourrait être mis en valeur.



Pour informations, à ce sujet, le centre de recherche et développement Arago expérimente les bétons de chanvre.

Il semblerait, d'après leurs premiers résultats, que les bétons de chanvre contribueraient largement au contreventement de l'ossature bois qui leur est associée.

Cet axe de recherche et développement est très prometteur dans l'optique d'une optimisation du système constructif à ossature bois :

- montage plus simple des montants et traverses d'ossatures bois,
- économie de matière en diminuant l'utilisation du bois dans les projets au profit du béton de chanvre,
- mise en œuvre du béton de chanvre simplifiée dans le cas de la projection méca-

nique pour laquelle bien souvent l'accès des lances est difficile entre les éléments de contreventement oblique et le coffrage.

Cette caractéristique du béton de chanvre par rapport au contreventement ne devra pas être prise en compte dans les projets.

Mais le béton de chanvre confortera largement le contreventement en bois, et grâce à son élasticité, il semble être une réponse efficace pour les zones sismiques qui couvrent environ 20% de la France, mais bien plus en Italie et dans d'autres pays.

Des essais pourraient être menés sur la question et permettraient de renforcer la prescription du béton de chanvre dans ces zones.

L'étanchéité à l'air rappel sur la réglementation

Depuis 2012, la réglementation thermique impose une exigence de résultat vis-à-vis de l'étanchéité à l'air sur la maison individuelle et les logements collectifs. Appelé Q4 ($m^3/h/m^2$), cette mesure représente le débit de fuite d'air en m^3 d'air par heure et par mètre carré de paroi sous des pressions et dépressions de 4 Pascal (Q4).

- **Maison individuelle** : $Q4 = 0.6 m^3/(h.m^2)$ (BBC-Effinergie, neuf).
- **Logement collectif** : $Q4 = 1 m^3/(h.m^2)$ (BBC-Effinergie, neuf).

Les parois verticales en béton

de chanvre présentent un bon comportement vis-à-vis de l'étanchéité à l'air.



Les points de vigilances des ouvrages en béton de chanvre

La finition continue obligatoire au sens des règles professionnelles (système avec bardage conforme au DTU 31.1 ou enduit conforme au DTU 26.1) appliquée à l'extérieur ou à l'intérieur pour les enduits ou coffrages perdus sur les parois verticales assurera le rôle de barrière à l'air.

Néanmoins, comme pour la construction à ossature bois traditionnelle, les bâtiments en béton de chanvre sont soumis à des points de vigilance.

Il faudra notamment surveiller :

- **Les jonctions entre matériaux** : béton de chanvre et ossature bois apparente sur une face : mise en œuvre de scotch tramé et/ou trame d'enduit.
- **Les jonctions entre parois** : interface mur/toiture, principalement lorsque l'isolant en toiture n'est pas du béton de chanvre, engendrant une discontinuité des matériaux.

- **Les liaisons entre soubassement et lisse basse** : solution de traitement avec matériau compressible utilisé par la filière bois.

- **Les liaisons entre les menuiseries et l'ossature** : mise en place de bande d'étanchéité compressible.

- **L'incorporation des gaines, coffres** de volets roulants, conduits, boîtiers, etc : on pourra utiliser des boîtiers membranés et des boîtiers étanches à l'air dans le cas de parements.

- **La finition** assurant l'étanchéité à l'air des bâtiments en béton de chanvre, dans le cas

d'enduits extérieur. On recommande de tramer systématiquement les entourages de menuiseries, les arrêtes de l'ouvrage et tout point pouvant présenter un risque de microfissuration pouvant représenter un point d'infiltration potentiel de l'air.

Toutefois, avec un matériau hygroscopique, comme le béton de chanvre, en situation de discontinuité de l'étanchéité à l'air, les risques de désordre liés à la condensation sont nuls comparé à des systèmes conventionnels composés de matériaux très sensibles à l'humidité.

Pour certains modes constructifs, on peut se poser la question de la pérennité des scotchs, pare-vapeur et autres produits pouvant servir à l'étanchéité à l'air. Aujourd'hui, les fabricants garantissent des durées de vie, mais qu'advient-il de ces éléments sous des actions méca-

niques et climatiques répétées dans le temps, seront-ils toujours capables d'assurer leur rôle de barrière à l'air ?

L'avantage d'un matériau comme le béton de chanvre et son ossature bois noyée est la facilité du traitement des points d'étanchéité à l'air et de sa pérennité. Tout au long de la vie de l'ouvrage, les points singuliers sont identifiables et peuvent être repris dans le cas d'un défaut d'étanchéité à l'air.

Construire avec l'ossature bois et béton de chanvre est intéressant sur ce point. Pour une bonne étanchéité à l'air, ce système constructif à l'avantage de n'avoir à traiter que les points singuliers, et non pas les surfaces courantes. Cela permet d'éviter de graves erreurs de mise en œuvre.



Des exemples de résolution Étanchéité à l'air



Trame de renfort d'enduit



Adhésif de renfort tramé

2 - LA RÉGULATION HYGROTHERMIQUE

Inertie thermique (effusivité, diffusivité, déphasage, capacité thermique) **57 - 70**

Le béton de chanvre, un matériau hygroscopique **71 - 86**

Le régime permanent : Sd ou perméance à la vapeur d'eau

Triple porosité ouverte
(transport de l'humidité par adsorption et désorption)

Optimisation des parois en béton de chanvre

Chaleurs latentes de changement d'état de l'eau

Points de rosée

RT 2012 et béton de chanvre vers un titre V ouvrage(s) (et produit) **87**

Des exemples de parois : différents complexes avec du béton de chanvre **88 - 89**



L'évaluation du confort thermique nécessite la prise en compte des différentes variables. L'ambiance thermique est caractérisée par quatre grandeurs physiques (la température de l'air, la température de rayonnement, l'humidité et la vitesse de l'air). Ces variables réagissent avec l'activité et la vêtue du corps humain pour établir son état thermique et constituent ensemble les six paramètres de base des échanges thermiques entre l'homme et son environnement. Mais au-delà de ces variables, la perception thermique d'un environnement peut être influencée par des variables physiologiques, psychologiques et sociologiques ; l'acclimatation peut altérer les sensations thermiques, de même que les comportements, l'accoutumance et les attentes des occupants dans leur cadre de vie.

Moujalled, 2007



Les performances des mortiers et bétons de chanvre agissent à la fois sur la thermique et sur la régulation hygrométrique des bâtiments. Pour décrire ces deux aspects, nous parlerons de performances.



Dans les bâtiments en béton de chanvre qui ont fait l'objet d'un suivi avec retour d'expérience, il a été constaté que les températures de confort en été comme en hiver sont toujours respectées et conformes au plus haut niveau d'exigence mentionné dans la norme NF EN 15251 de 2007 :

Catégorie	Explications
1	Niveau élevé attendu qui est recommandé pour les espaces occupés par des personnes très sensibles et fragiles avec des exigences spécifiques comme des personnes handicapées, malades, de très jeunes enfants et des personnes âgées.
2	Niveau normal attendu qu'il convient d'utiliser pour les bâtiments neufs et les rénovations.
3	Niveau modéré acceptable attendu qui est peut-être utilisé dans les bâtiments existants.
4	Valeurs en dehors des critères des catégories ci-dessus. Cette catégorie est acceptable pour une partie restreinte de l'année.

REMARQUE | En plus du confort thermique, on notera aussi l'importance du confort économique. En effet, les températures de confort dans des bâtiments en béton de chanvre sont plus faibles que pour d'autres matériaux. Or chaque degré Celsius en moins correspondant à une économie de chauffage d'environ 7%.

L'objectif de cette partie est d'explicitier et d'illustrer ces performances hygrothermiques exceptionnelles des bétons de chanvre. Selon les matériaux mis en œuvre, ces performances pourront être optimisées, diminuées ou même inhibées dans certains cas. Les contenus qui suivent sont issus de la recherche et développement menée par plusieurs laboratoires français depuis plus de 20 ans sur le chanvre.

Confort thermique, hygrométrique, perspiration du bâti, ventilation des locaux, régulation de l'humidité et confort sanitaire, le béton de chanvre peut répondre à toutes les exigences pour construire des bâtiments sains, passifs et respectueux de notre environnement.

Inertie thermique

Effusivité, diffusivité, déphasage, capacité thermique

De manière simple, on peut définir une paroi conventionnelle généralement par :

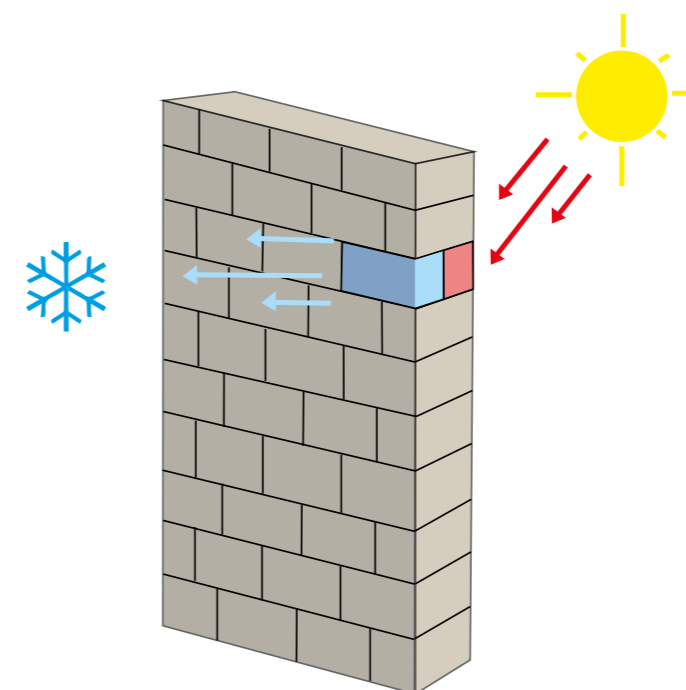
- sa masse volumique
- sa capacité thermique massique, (quantité d'énergie à apporter pour élever la température de l'unité de paroi d'un degré Kelvin)
- et par sa conductivité thermique

Ces paramètres étant considérés constants (à une température et un taux d'humidité fixé), ils permettent de donner des informations générales sur le comportement thermique d'un matériau.

La valeur du lambda donnera la R_{th} du matériau que l'on pourra par exemple utiliser dans les moteurs de calculs de la RT 2012 Th-BCE.

Pour les bétons et mortiers de chanvre, les valeurs du lambda varient de 0.056 à 0.16 W/(m.K) environ selon le dosage en liant (utilisations différentes) à des humidité fixées.

Une étude thermique basée sur ces données donne déjà un ordre d'idée des performances thermiques des bétons de chanvre, à la fois sur leur caractère isolant et surtout sur leur apport dans l'inertie thermique.



Inertie thermique

L'inertie thermique d'un matériau peut être décrite comme l'opposition d'un matériau aux variations de températures qu'il subit.

L'inertie est une notion souvent délaissée au profit de l'isolation.

Dans le bâti conventionnel, beaucoup de projets ont tendance à ne traiter que l'aspect isolant de l'enveloppe.

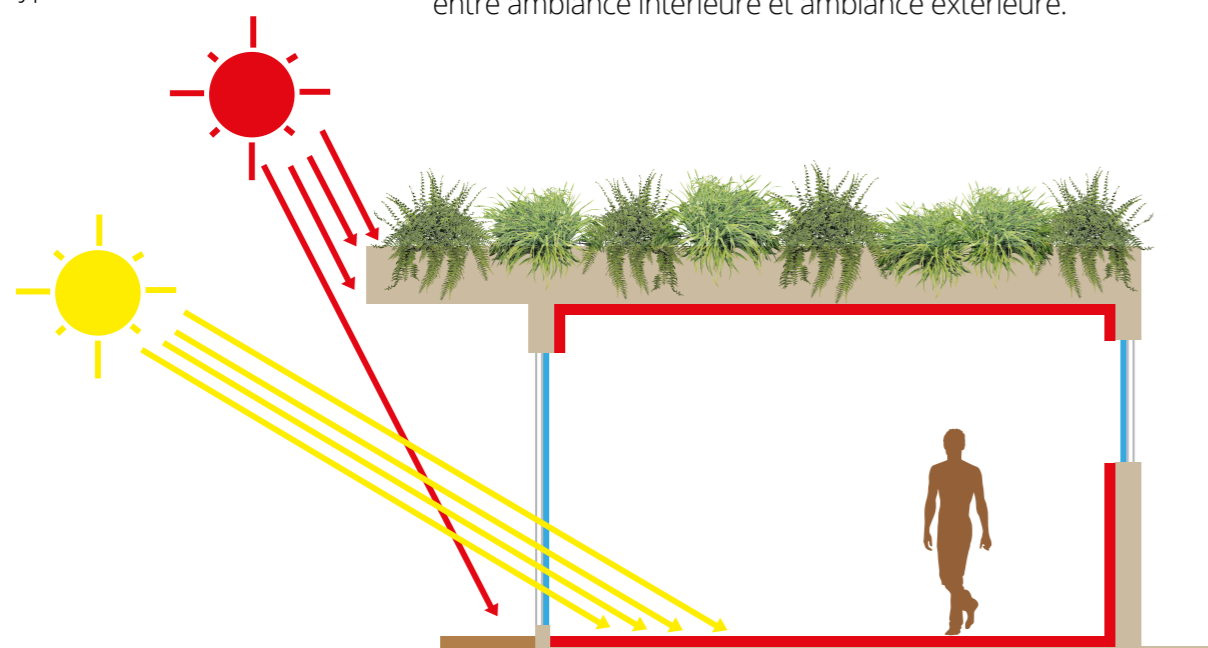
Or le caractère inertiel dans le bâti est essentiel et indispensable pour une conception bioclimatique réussie des ouvrages.



Les différentes inerties paramètres influents

À l'image de la définition faite de l'inertie dans l'isolation thermique écologique de Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey, nous considérerons deux types d'inerties :

- **Inertie intérieure** : elle représente la capacité de la face interne des parois à absorber, stocker et restituer les apports instantanés de chaleur.
- **Inertie de transmission** : elle concerne l'épaisseur totale de la paroi qui amortit et déphase les variations de température entre ambiance intérieure et ambiance extérieure.



Protection solaire en été et stockage thermique sur finitions en hiver

Dans le cas du béton de chanvre, nous allons voir sa contribution pour les deux aspects.

Ces deux manières d'aborder l'inertie thermique dépendent des mêmes paramètres :

- la conductivité thermique (W/(m.K))
- la masse volumique (kg/m³)
- la capacité thermique volumique : aptitude d'un matériau à stocker de la chaleur (Wh/(m³.K)).

La combinaison de ces trois paramètres peut être représentée par différentes fonctions, proportionnelles les unes aux autres et qui illustrent la capacité du matériau à amortir les changements de température, intérieurs comme extérieurs.

● **L'effusivité** : capacité à échanger de l'énergie thermique avec le milieu environnant. Cette notion permet d'illustrer la température de surface des parois plus ou moins chaudes ou froides.

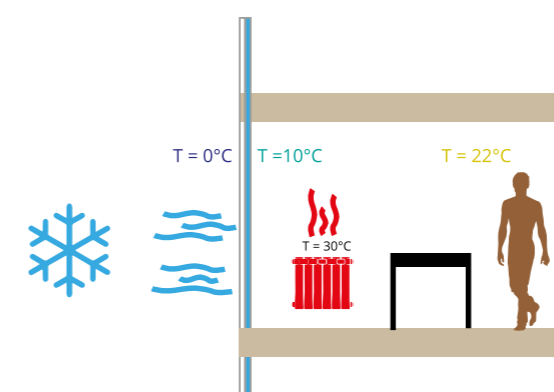
● **La diffusivité** : capacité du matériau à transmettre de la chaleur d'un point à un autre de la paroi. Elle participe à l'inertie de transmission, par exemple pour le confort d'été vis à vis des façades exposées sud et ouest.

● **La capacité thermique volumique** : elle représente la faculté du matériau à stocker plus ou moins de chaleur pour un volume donné. Cette propriété est utile pour illustrer la capacité d'un matériau à stocker des calories intérieures et ainsi éviter les surchauffes d'été par exemple.

● **Le déphasage thermique** (temporel) lié à la diffusivité.

Pour caractériser l'inertie intérieure d'une construction en béton de chanvre, nous présenterons l'importance du choix des finitions intérieures. Le choix des finitions sera illustré par deux propriétés : l'effusivité et la capacité thermique volumique.

Les bétons et mortiers de chanvre sont des matériaux dit à faible effusivité. Leur faible effusivité va participer au confort intérieur des ouvrages car le matériau est considéré comme « chaud ». Cette effusivité est faible en comparaison avec des matériaux comme le béton armé ou le marbre.



Inertie intérieure

Cette caractéristique est utilisée pour contrer le phénomène de paroi froide bien connu dans le bâti ancien.

En appliquant un enduit hygrothermique en mortier de chanvre sur un mur de bâti ancien, en plus de respecter la perméance de la paroi d'origine et d'améliorer son caractère isolant et de respecter son inertie de transmission, on effectue une correction thermique qui permet d'éviter le phénomène de paroi froide.

Les différents ordres de grandeurs d'effusivité

Finition	Valeur effusivité	Commentaire
Enduit chaux/chanvre	Faible effusivité	PAROIS CHAUDES
Parement bois	Faible effusivité	
Enduit Chaux/sable	Effusivité env. 2,5 fois plus forte que l'enduit chaux/chanvre	APPORT D'INERTIE INTERIEURE
Enduit à base d'argile	Effusivité env. 3 fois plus forte	
Béton armé	Effusivité env. 6 fois plus forte	PAROIS FROIDES
Marbre	Effusivité env. 8 fois plus forte	
Verre	Effusivité env. 3,5 fois plus forte	

De la même manière en construction neuve, comme en rénovation, une finition intérieure avec un enduit chaux/chanvre contribue au confort intérieur par son rendu « chaud ». La température de surface pourra en effet être proche voir légèrement plus élevée que celle de l'air intérieur. **Ce point particulier est un des avantages des mortiers de chanvre : leur faible effusivité participe à la qualité du confort ressenti par l'utilisateur.**

Dans la recherche d'optimisation des parois et dans le but de réguler les variations thermiques été/hiver et jour/nuit, l'apport de masse interne sera également un point prépondérant. L'apport de masse peut se faire de plusieurs façons. En fonction du climat où se situe le projet, et de son usage, on pourra dans la conception des bâtiments travailler sur la masse des finitions des sols, murs, toiture et également additionnelles (exemple le mobilier).

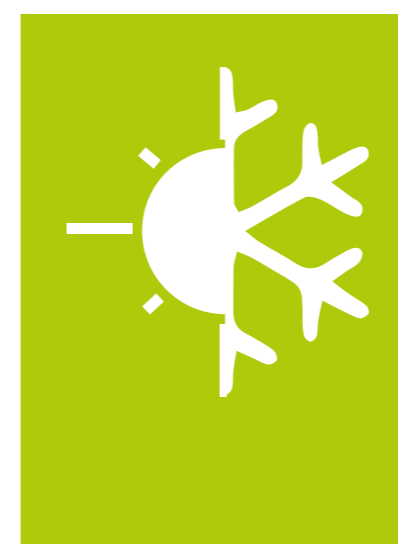
REMARQUE | nous verrons plus loin que ce confort thermique apporté par le chanvre est d'autant plus important qu'il sera renforcé par les chaleurs latentes de changement d'état de l'eau qui ont lieu dans les parois. Ces phénomènes confortent et améliorent nettement le comportement thermique des ouvrages en béton et mortier de chanvre.

Cet apport de masse interne peut être illustré par la capacité thermique volumique des matériaux. C'est à dire la proportion à stocker plus ou moins de chaleur pour un volume donné. Cette propriété est très importante pour assurer un confort thermique à l'intérieur d'un local.

Cet apport à l'inertie intérieure est rendu pertinent lorsqu'un matériau de finition, associé à son support, peut apporter une masse partielle supplémentaire à la paroi. Observons quelques ordres de grandeurs de différents matériaux :

Finition	Capacité thermique volumique
Enduit chaux/chanvre	Compromis entre paroi chaude et apport d'inertie intérieure
Enduit Chaux/sable	Capacité 1,5 fois plus élevée que l'enduit chaux/chanvre
Enduit à base d'argile	Capacité 3 fois plus élevée que l'enduit chaux/chanvre
Béton armé	Capacité 2 fois plus élevée que l'enduit chaux/chanvre
Marbre	Capacité 3 fois plus élevée que l'enduit chaux/chanvre
Verre	Capacité 2 fois plus élevée que l'enduit chaux/chanvre

D'après ce tableau, les finitions murales intérieures en enduit chaux/chanvre offrent un bon compromis entre apport de masse partielle et température surfacique intéressante.



REMARQUE | le rendu plus ou moins brossé réalisé sur un enduit en mortier de chanvre pourra partiellement influencer le confort intérieur. Sur le plan de la thermique, une finition plus rugueuse pourra être plus intéressante qu'une finition lissée.



Finitions sur béton de chanvre influence sur le comportement

D'autres éléments prépondérants peuvent influencer le choix du revêtement.

Sans dire qu'il existe une unique et parfaite finition, dans certains cas un choix de finition intérieure peut être plus pertinent qu'un autre selon :

- **L'usage de la pièce souhaité, besoin en :**
 - apport d'inertie interne,
 - température surfacique élevée,
 - régulation de l'humidité,
 - traitement de l'acoustique,
- **L'aspect esthétique recherché :**
lisse, rugueux, mat, brillant, coloré, etc.
- **L'impact environnemental :**
analyse de cycle de vie du matériau
Tout revêtement peut répondre plus ou moins



Maison diocésaine

bien et de plusieurs façons à ces problématiques. Dans le cas du béton de chanvre, cet ouvrage illustre l'importance du choix de la finition sur les performances de la paroi. Sans rentrer dans le détail, sans évoquer la couleur et la rugosité du parement, voyons l'influence de cinq types de finitions intérieures sur une paroi en béton de chanvre :

Matière	Diffusivité
Béton de chanvre brut	Effusivité très faible qui présentera une température de surface intéressante mais une masse inertielle faible. Sur l'acoustique, l'absorption sera optimale. Le point de vigilance se portera sur l'esthétique : l'aspect rugueux est intéressant mais demande des précaution d'entretien.
Enduit chaux/sable	Effusivité neutre à élevée en fonction des dosages du mortier. En intérieur, l'apport de masse inertielle est pertinent pour le stockage interne. Le rendu masque le béton de chanvre, mais peut respecter l'esthétique de l'existant en rénovation par exemple. Solution très employée dans la construction en chanvre, mais qui a tendance à réduire les performances acoustiques et de régulation hygrométrique du béton de chanvre.
Enduit chaux/chanvre	Effusivité relativement basse offrant une température de surface homogène avec les températures intérieures (pas de paroi froide). L'apport de masse est légèrement inférieur au sable/chaux mais néanmoins non négligeable pour le confort d'été et d'hiver. Le coefficient d'absorption acoustique est bon et la finition permet de laisser la paille de chanvre plus ou moins apparente. Ce rendu permet aussi de respecter les performances hygrométriques du béton de chanvre derrière l'enduit.
Enduit argile	Effusivité élevée, avec une diffusivité faible par rapport à du marbre. L'apport de masse inertielle est 2,5 fois plus fort que le chaux/chanvre donc assez conséquent pour l'inertie intérieur. Ce type de finition est pertinente pour le confort d'été. De plus, il est également possible de réaliser des finitions terre/chanvre pour baisser l'effusivité des enduits à base d'argile. Et pour ce qui concerne le respect des échanges hydriques, nous verrons que les enduits à base d'argile présentent des caractéristiques intéressantes.
Finition avec parement en plaque de gypse	Les plaques de gypse possèdent une effusivité du même ordre de grandeur que les enduits chaux/chanvre. Cependant il faut faire attention à la finition (peinture ou autre, devra préserver la perméabilité à la vapeur d'eau) choisie sur ces plaques (peinture plus ou moins poreuse, lisse, rugueuse...). Au niveau de la mise en œuvre, l'avantage est certain car ces plaques peuvent servir de coffrage perdu. Acoustiquement, en combinaison avec le béton de chanvre, la réduction est bonne, l'absorption l'est moins (cf partie IV).

REMARQUE | le très bon comportement acoustique des mortiers et béton de chanvre impact directement l'ambiance dans les pièces. Suite à des retours clients, certains professionnels vont même jusqu'à affirmer que l'ambiance est plus sereine dans des logements ayant une finition à base de chanvre...

Selon l'usage du local, le type de finition ne donnera pas les mêmes résultats sur le confort recherché.

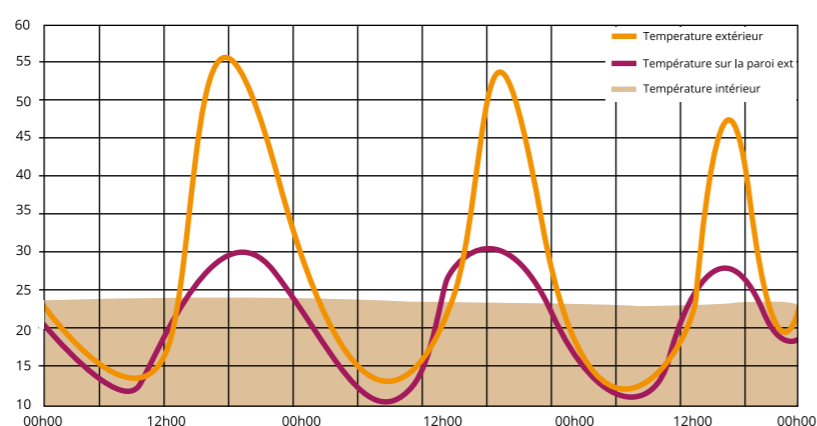
Les finitions comme les enduits chaux/chanvre et les enduits à base d'argile présentent des caractéristiques intéressantes d'un point de vue bioclimatique, environnemental et sanitaire. De plus, sur la régulation hygrométrique, nous verrons dans ce qui suit que les finitions intérieures types chaux/chanvre et terre/chanvre présentent **des caractéristiques hygriques adaptées au support** béton de chanvre.

Inertie de transmission

En construction neuve sur des épaisseurs importantes supérieures à 30 cm, une paroi en béton de chanvre peut présenter des caractéristiques thermiques suffisamment élevées pour donner des déphasages temporels intéressants. En plus de présenter l'avantage d'une faible effusivité, les murs amortissent donc aussi les variations de température été comme hiver.

La régulation hygrométrique favorise des humidités relatives stables à l'intérieur des pièces et diminue les besoins énergétiques en climatisation.

Dephasage thermique : coupe sur une maison



Coupe sur une maison instrumentée dans le sud est de la France.

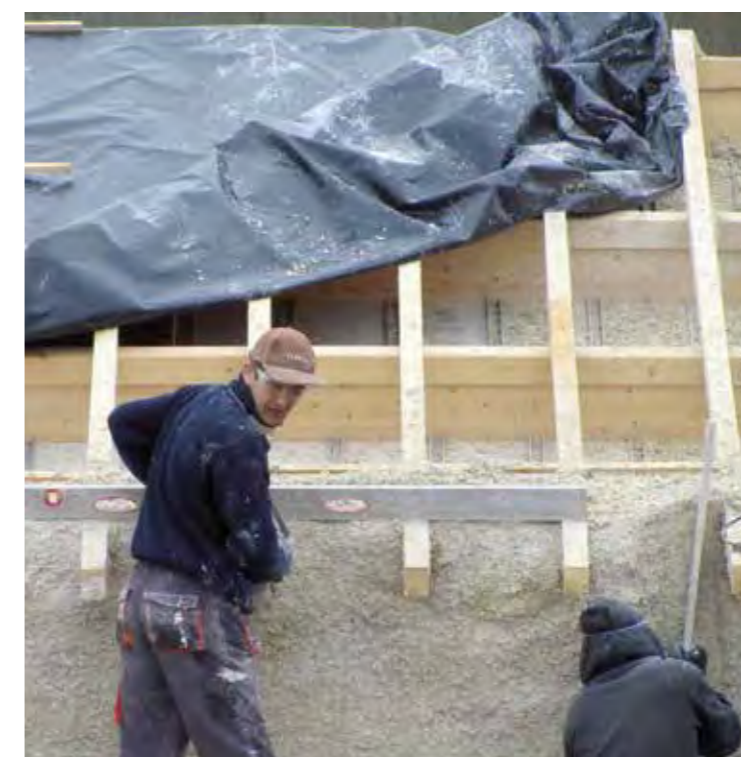
Définition : la diffusivité est la vitesse avec laquelle la chaleur se propage dans le matériau. Or une diffusivité thermique faible permet au béton de chanvre d'amortir la diffusion de chaleur extérieure, en été par exemple.

Matériau	Diffusivité
Béton armé	+ 7 fois celle du béton de chanvre
Laine minérale	+ 9 fois celle du béton de chanvre
Brique de terre crue	+ 2 fois celle du béton de chanvre
Béton de chanvre dosage mur	Même ordre de grandeur
Béton de chanvre dosage toiture	Même ordre de grandeur

REMARQUE | La diffusivité d'un béton de chanvre « formulation mur » est environ 10 fois plus faible que celle d'un béton armé standard, donc très intéressante.

On comprend d'après le tableau précédent qu'une paroi en béton de chanvre, en dosage mur à environ 400 kg/m³ ou toiture à environ 200 kg/m³ possède des valeurs faibles de diffusivité thermique ce qui en fait un excellent amortisseur thermique.

Ces faibles valeurs comparé au béton armé par exemple lui permettent de ralentir grandement la vitesse de propagation d'une onde thermique extérieure.



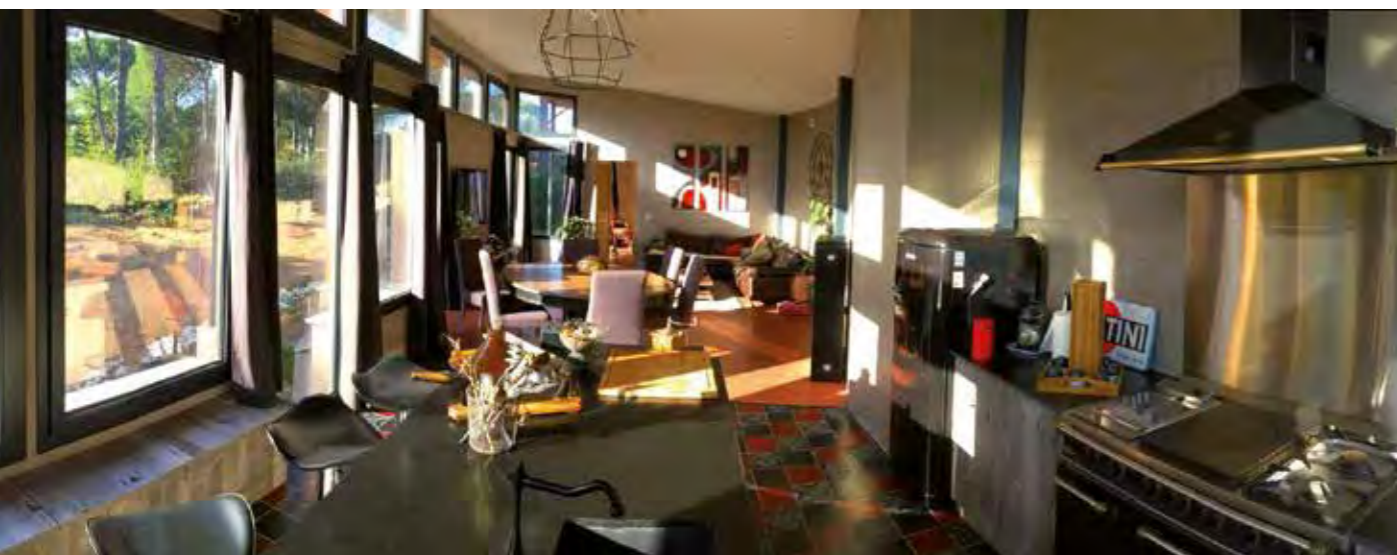
L'effet sur le confort d'été est donc excellent et son utilisation, notamment en toiture devient très pertinente pour les régions connaissant des étés chauds.

En été, le béton de chanvre utilisé en formulation toiture ou mur, permet donc d'éviter les surchauffes.

En hiver, l'inertie interne de stockage pour les apports de chaleur intérieur (chauffage, poêle de masse) et externe (soleil à travers une baie vitrée) sera assurée par les revêtements comme des enduits d'argile, sable/chaux, chanvre/chaux dans certains cas.

Certains prescripteurs utilisent les briques de terre crue, judicieusement placées, pour capter, stocker puis restituer les apports solaires d'hiver par exemple.

Les finitions de sols jouent également leur rôle dans ce confort. La mise en œuvre de revêtements type dalles en terre cuite ou de béton d'argile pourront participer favorablement au confort d'été.



Différents types de finitions et btc en stockage de masse.

Sur le plan thermique, une paroi en béton de chanvre mise en œuvre et en opérant un choix réfléchi des finitions, contribuera toute l'année au confort des usagers dans les bâtiments.

Néanmoins, ces valeurs de lambda, masse volumique et capacité thermique, qui définissent l'inertie ne sont pas suffisantes pour représenter le comportement global d'une paroi en béton de chanvre. Ces paramètres ne sont en effet pas figés et évoluent suivant l'hygrométrie des pièces par exemple. **La prise en compte du caractère hygroscopique du béton de chanvre est indispensable** pour la compréhension et la mise en valeur de sa contribution positive sur la régulation hygrothermique du bâti et la qualité sanitaire des ouvrages.



Régulation hygrométrique humidité relative

L'hygroscopie

Quelques données sur l'importance d'une bonne régulation de l'humidité d'un ouvrage.

Définition : L'humidité relative de l'air, ou degré hygrométrique est une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions.

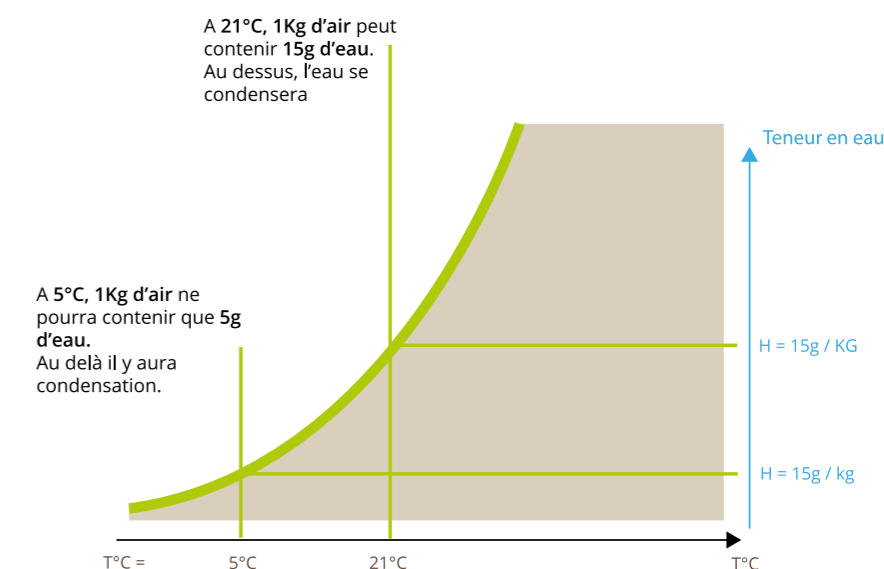
Par exemple une humidité relative de 55% signifie que l'air contient 55% du maximum de vapeur d'eau qu'il peut absorber à la température donnée.

Pour une humidité relative de 60%, la notion d'inconfort sera plus grande s'il fait 30°C que s'il fait 20°C.

Car un air saturé à 20°C aura une teneur en humidité plus faible que ce même air à 30°C.

Diagramme de mollier

Point de rosée = condensation = 100% Hr
Plus la T°C de l'air baisse moins il peut contenir d'eau.



Quelques données : la production de vapeur d'eau pour 4 personnes, pendant une semaine, dans un logement se situe entre 55 et 75 l. Une douche c'est environ 15 à 20 l de vapeur d'eau par semaine.

Suzanne Déoux. Assises régionales de l'air, Conseil Régional d'Ile de France.

Champignons sur le mur,
humidité sur les fenêtres,
laine minérale endommagée...



Développement de moisissures dû à une mauvaise gestion de l'humidité

Impacts sur les matériaux

Une hygrométrie trop importante pourra, à long terme engendrer des dégradations des finitions, des diminutions des performances thermiques, acoustiques et mécaniques des matériaux constitutifs de l'enveloppe.

Impacts sur la santé

- Une quantité de vapeur d'eau trop élevée dans l'air, supérieure à 70%, pourra engendrer moisissures, acariens, et émissions en provenance des matériaux (cov si ceux-ci en contiennent).

- Une humidité trop faible dans le bâtiment, peut avoir pour conséquences des sécheresses buccales, nasales, des yeux, de la peau et des mucus respiratoires. L'apparition d'électricité statique y est favorisée.

Suzanne Déoux.
Assises régionales
de l'air, conseil régional d'IDF.

Réponse du béton de chanvre

« ... le béton de chanvre constitue un excellent moyen d'amortir, de manière passive, les variations quotidiennes de température et d'hygrométrie : il permet ainsi de réduire la demande énergétique, et d'améliorer grandement le confort thermique et hydrique au sein des logements. En outre le béton de chanvre contribue à limiter les problèmes de condensation et de moisissures sur les parois, nuisibles au confort sanitaire des ambiances.

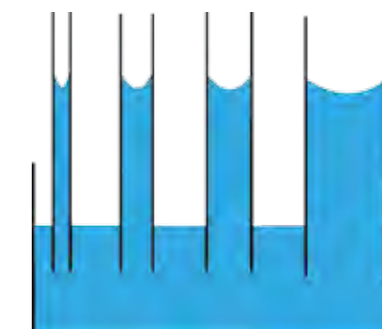
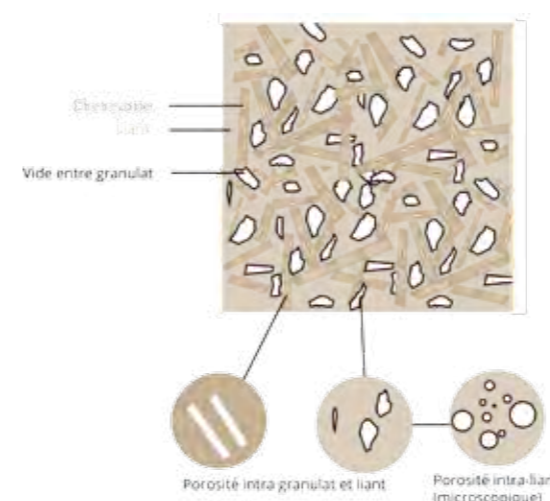
(Samri - CEREMA) 2008.

Une qualité derrière cela :

l'hygroscopie
du béton de chanvre

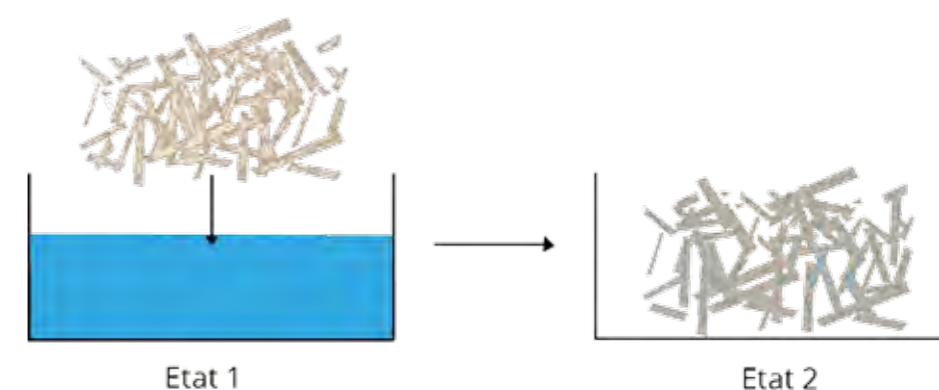
Béton de chanvre Un matériau hygroscopique

Hygroscopie :
capacité du béton de chanvre à absorber l'humidité de l'air par adsorption puis à la restituer par désorption.



La chènevotte est l'élément important du béton de chanvre car elle peut absorber entre 300% et 400% de sa masse en eau. Ce qui en fait un excellent régulateur hygrométrique. En effet, une fois la chènevotte sèche, la sève initialement présente dans le réseau de pores du chanvre a en partie disparu, laissant place à des canaux vides qui forment un réseau de capillaires capables de véhiculer la vapeur d'eau.

Chènevotte plongée dans de l'eau



Le caractère hygroscopique du béton de chanvre est une de ses grandes qualités. Pour qu'il soit géré de façon optimale, la mise en œuvre des bétons et mortiers nécessite une attention particulière, une prescription adaptée, et une réalisation soignée.

Par son hygroscopie entre autre, le béton de chanvre participe largement au confort hygrothermique du bâtiment, l'un des principaux atouts de ce mode constructif. Il assainit partiellement l'air ambiant en régulant favorablement l'humidité.

Voyons comment il y parvient.



Triple porosité ouverte transport de l'humidité par absorption et désorption

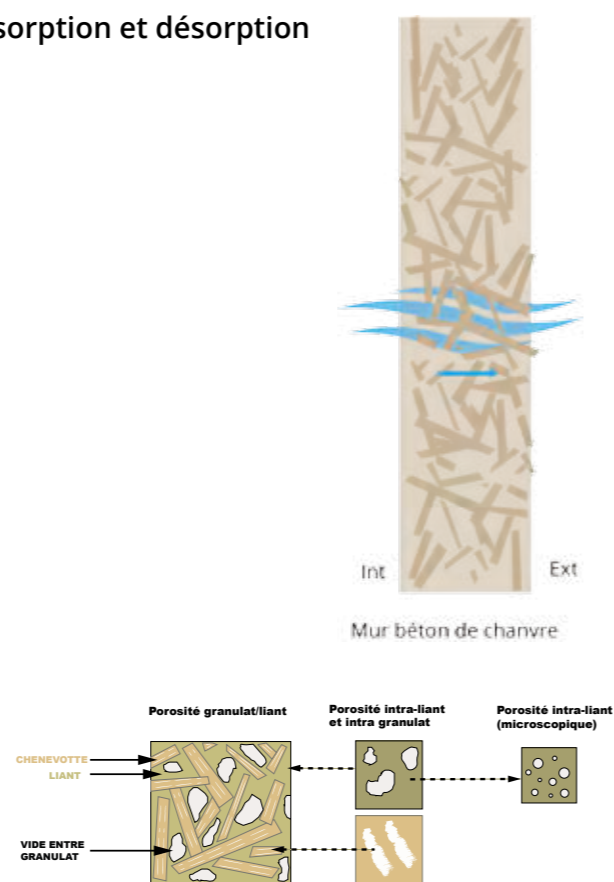
La porosité : A la base des performances hygrothermiques du béton de chanvre se trouve sa porosité, qualifiée d'ouverte (continuité entre les pores) à plus de 70% en volume pour une formulation de type « Mur »

(Collet, 2004), (Evrard et De Herde, 2005), (Goyer, 2007).

Cette porosité est de plus caractérisée à trois échelles différentes : **macropores, mésopores et micropores.**

Cette porosité est triple car est présente à trois échelles différentes.

À l'intérieur des ouvrages, en surface des murs, les humidités relatives peuvent être élevées. La pression à l'intérieur d'une maison étant généralement plus élevée qu'à l'extérieur, l'humidité présente dans l'air a tendance à se retrouver en partie sur les parois.



Pour un mur en béton de chanvre, les mécanismes d'adsorption à la surface des murs amorcent les échanges d'humidité avec l'air ambiant.

La capillarité : le béton de chanvre étant un matériau à porosité ouverte, et hydrophile, il aura tendance à capter cette humidité ambiante. Il la capte d'autant mieux que son réseau poreux est fin (réseau capillaire de la chènevotte et finesse du liant).

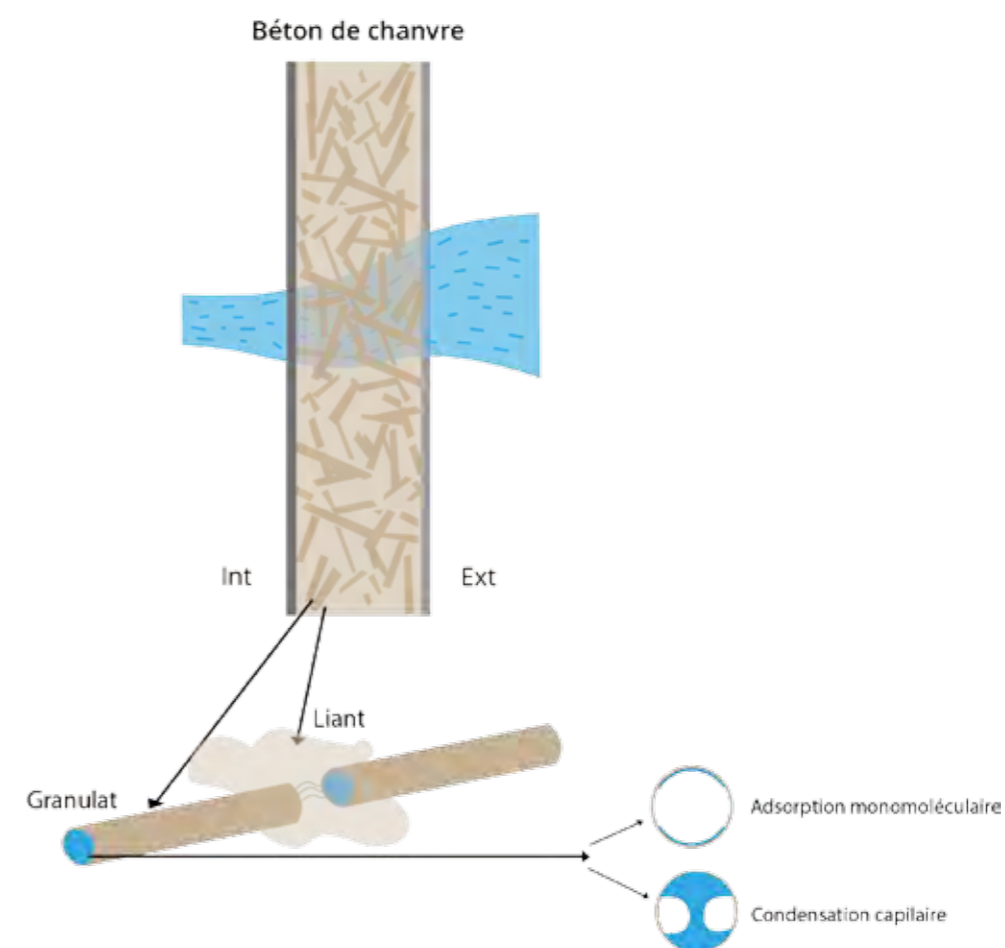
Les molécules d'eau à l'état vapeur, contenues dans l'air ambiant se fixent sur les pores du liant ou de la chènevotte par les forces d'interaction de van der Waals.

Et dans le cas d'une humidité relative élevée, il peut y avoir « condensation capillaire ». Un pont liquide peut se former au sein des pores qui n'a rien à voir avec la formation de point de rosée (cf partie sur le point de rosée).

L'humidité captée par le béton de chanvre est donc stockée sous deux états : état vapeur et état condensé capillaire.

Cela représente un grand potentiel énergétique que la paroi va être capable d'utiliser. La quantité de chaleur nécessaire pour transformer l'eau liquide en vapeur est de 2 257 kJ/kg.

Schématisation du phénomène d'adsorption dans le béton de chanvre.



Bien entendu, cette gestion de l'humidité est d'autant plus intéressante que la paroi sera « ouverte », c'est à dire que le mur peut utiliser au maximum son caractère poreux, pour ainsi gérer une plus grande quantité d'humidité relative.



Béton de chanvre

REMARQUE | plus le diamètre des pores est petit, plus la condensation capillaire a lieu à des humidités relatives faibles, donc plus la paroi est efficace.



REMARQUE | la finesse d'un liant est liée à sa surface spécifique. Plus les grains sont de faible dimension, plus le liant est fin, plus la surface spécifique sera élevée et donc la réactivité d'adsorption grande.

ATTENTION | une paroi qui gère l'humidité relative contenue dans l'air ne signifie pas qu'elle est capable d'assainir une cave humide ou de gérer des remontées capillaires. Le béton de chanvre assainit l'air ambiant certes, mais ne pourra pas être utilisé pour assainir une cave.

Selon le type de finition adopté, les performances hygrothermiques seont augmentées ou diminuées.

Un travail d'optimisation selon la destination et l'usage de l'ouvrage est donc souhaitable.



Optimisation des parois en béton de chanvre

La compréhension du caractère régulateur d'humidité opéré par la paroi est essentielle pour ajuster au mieux le complexe :

revêtement intérieur/béton de chanvre/ revêtement extérieur.

Le travail d'optimisation des parois en béton de chanvre dépend d'un point essentiel : **la nature et le type de finitions mis en œuvre.**

La finition influence deux principaux paramètres : la perméabilité des murs et le tampon hydrique.

La perméabilité d'une paroi illustre la capacité d'un matériau à tolérer la migration de la vapeur d'eau.

Le travail d'optimisation des parois en béton de chanvre dépend d'un point essentiel : la nature et le type de finitions mis en œuvre.

Dans le cas du béton de chanvre cette migration doit être optimisée.



Le régime permanent Sd ou perméance à la vapeur d'eau

La perméance d'une paroi (on pourra aussi parler de perspiration) illustre la capacité d'un matériau à tolérer la migration de la vapeur d'eau.

Pour quantifier la capacité d'un matériau à être plus ou moins perméant, deux facteurs sont utilisés : μ et Sd

Sd = $\mu \cdot \text{ép}$ (matériau), exprime l'épaisseur (en mètre) d'une lame d'air ayant la même perméance que le matériau considéré.

μ : Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau du matériau, sans dimension. $\mu=20$ signifie que le matériau s'opposera 20 fois plus à la diffusion de la vapeur d'eau que l'air.

Plus les valeurs Sd ou μ sont proches de 0, plus le matériau sera considéré comme perspirant et inversement.

REMARQUE | le béton de chanvre du fait de son caractère de régulateur hydrique possède une valeur de Sd faible : il a un comportement hydrique assez singulier dans la mesure où la chènevotte qu'il contient est très sensible aux variations d'hygrométrie extérieure [...] En outre, cette hygroscopicité élevée lui confère une perméabilité à la vapeur d'eau importante et fait de lui un excellent régulateur hydrique.

Extraits CETE de l'Est - LRPC de Strasbourg

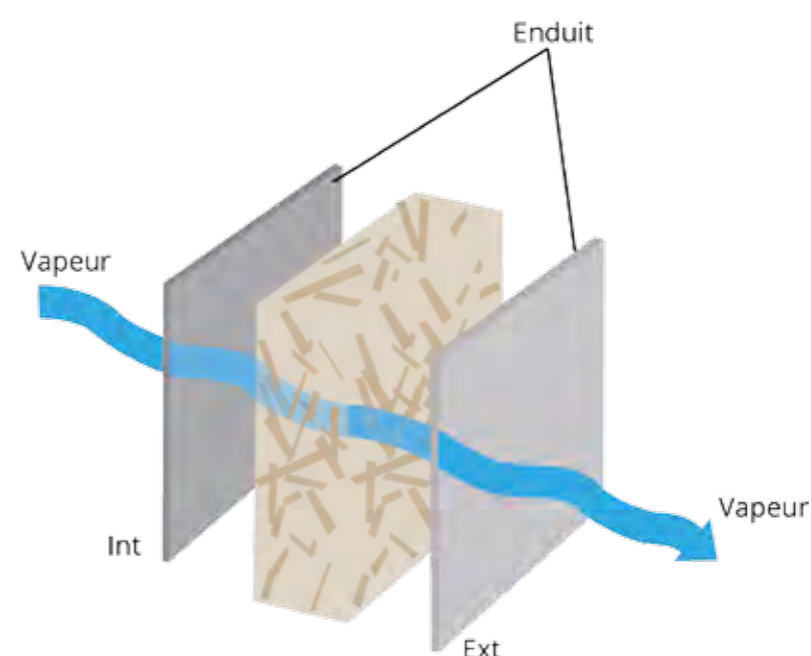
Tableau comparatif de sd avec béton de chanvre, brique, béton cellulaire, enduit sable/chaux, enduit chaux/chanvre, etc.

Type de paroi	Epaisseur	Sd
Béton de chanvre	20 cm	Sd = 1,6 m
Parpaing de ciment	20 cm	Sd = 3 m
Béton armé	20 cm	Sd = 26 m
Béton cellulaire	20 cm	Sd = 1,7 m
Brique monomur	20 cm	Sd = 2,3 m
Polystyrène	20 cm	Sd = 30 m
Liège expansé	20 cm	Sd = 3,5 m
Enduit ciment/sable	2 cm	Sd = 0,5 à 1,70 m
Enduit chaux/sable	2 cm	Sd = 0,12 à 0,40 m
Enduit chaux/chanvre	2 cm	Sd = 0,2 m (+ excellent MBV)
Enduit terre/sable	2 cm	Sd = 0,08 à 0,20
Plaque de gypse	1,25 cm	Sd = 0,13 m
Plaque de plâtre	BA 13	Sd = 0,1 m
Panneau fibre de bois	4 cm	Sd = 0,12 à 0,2 m environ
Frein vapeur HPV	-	Sd = 0,05 à 2 m
Pare vapeur	-	Sd > 5m
OSB	1 cm à 1,8 cm	Sd = De 1,2 à 4 m environ

REMARQUE | Ces valeurs sont des ordres de grandeur. Selon les marques commerciales des produits, elles peuvent bien entendues différer. Pour plus de précisions s'adresser aux fabricants.

ATTENTION | dans le cas général d'une **paroi composée de couches** (par exemple finition intérieure + ossature bois et laine isolante + bardage bois avec lame d'air ventilée) : **il est impératif dans la conception d'une paroi perspirante de respecter la règle du « 5 pour 1 » sur la dégression du Sd de l'intérieur vers l'extérieur.** On s'attachera toujours à veiller à avoir une dégression du Sd de l'intérieur vers l'extérieur.

CEPENDANT | dans le cas du béton de chanvre la problématique est à considérer différemment du fait qu'il constitue une paroi homogène, c'est-à-dire qu'il présente une continuité capillaire de l'intérieur vers l'extérieur.



Cette continuité capillaire associée à une forte hygroscopie, confère au béton de chanvre ses propriétés uniques et exceptionnelles qui sont :

- **un pouvoir tampon hygroscopique** important (capacité hygrique)
- **des amortissements de température** dus aux chaleurs latentes de changement d'état de l'eau dans les pores du matériau.

Citation :

pour les parois homogènes qui présentent une continuité capillaire entre l'intérieur et l'extérieur (monomurs maçonnés, béton de chanvre, murs en paille enduits directement sur paille des deux côtés...), les acteurs étrangers s'affranchissent souvent de la règle du 5/1. Leur seul souci, outre la continuité capillaire, est de choisir **un enduit extérieur capillaire et très ouvert à la vapeur d'eau.**

(L'isolation thermique écologique, Jean-Pierre Oliva, Samuel Courgey, Éd. terre vivante, 2010).

Un enduit extérieur capillaire et très ouvert à la vapeur d'eau.



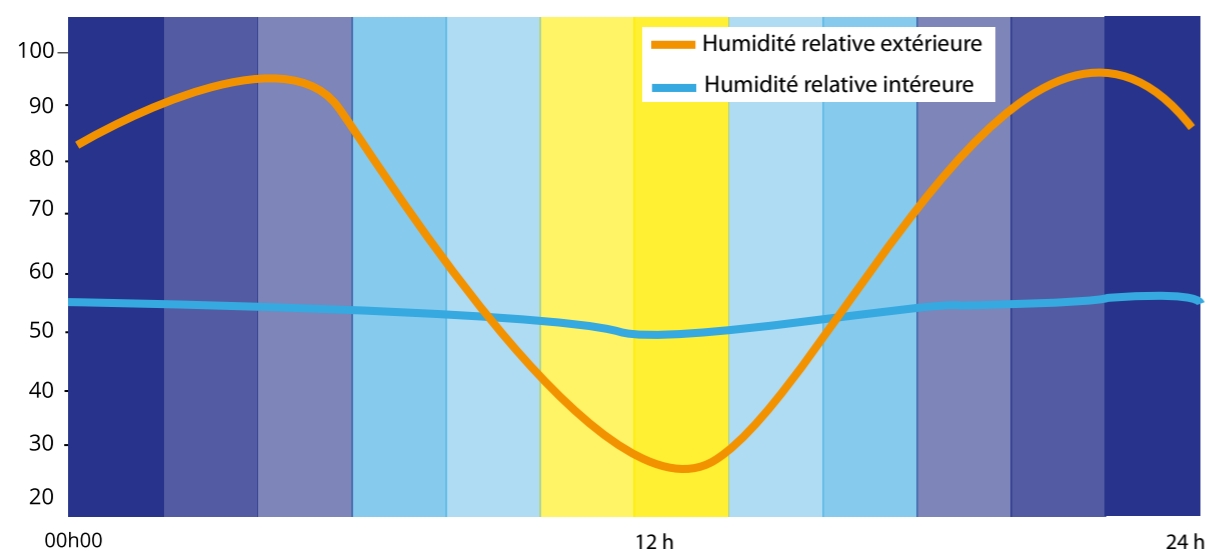
Optimisation des parois en béton de chanvre

Les matériaux hygroscopiques comme le béton de chanvre présentent des caractéristiques très intéressantes pour aider à réguler l'humidité dans un local.

Dans un projet recevant du public, comme une bibliothèque ou une salle de réunion qui peut voir son humidité varier fortement et rapidement, la régulation de la vapeur d'eau produite est primordiale.

Sur cet aspect, le choix du béton de chanvre est très pertinent, car il présente un excellent tampon hygroscopique.

Le tampon hygroscopique d'un matériau représente sa capacité à gérer plus ou moins rapidement des variations brusques d'humidité de l'air dans un local. Il caractérise l'amortissement hygrométrique de la paroi. À l'image de l'inertie thermique, on pourra parler d'inertie hygrique (liée à l'humidité et non à la température).



Phénomène d'inertie hygrique observé dans des bâtiments en béton de chanvre (analogie avec l'inertie thermique).

EXEMPLE | En situation géographique très exposée à l'humidité (bord de mer, climat océanique) comportant à l'extérieur des humidités relatives supérieures à 90% sur plusieurs jours, cette qualité perdure car le béton de chanvre poursuit son travail de régulateur.

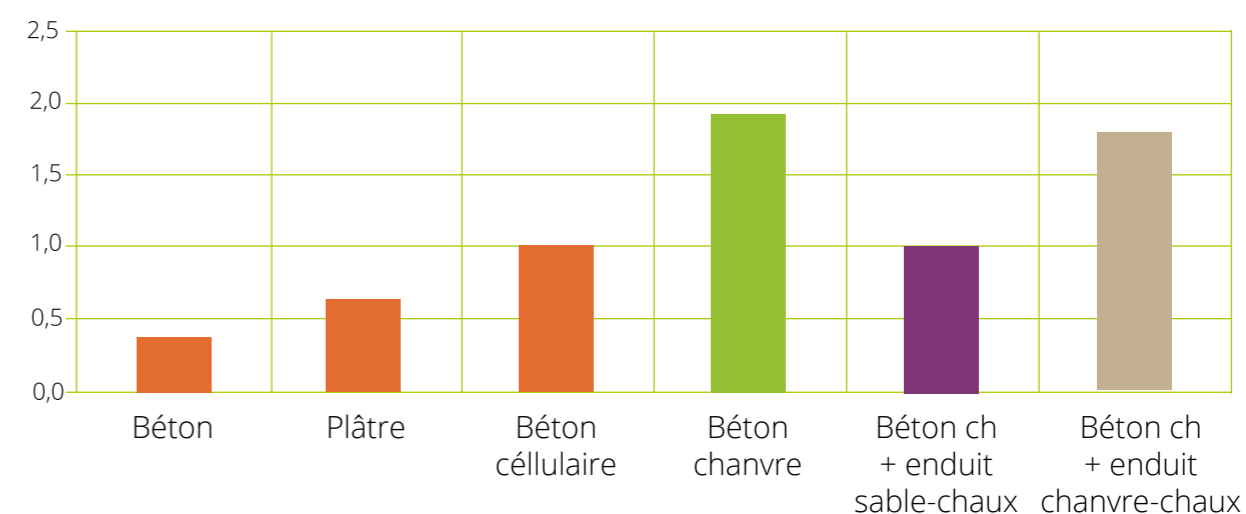
Il en est de même dans des espaces type cuisine ou salle de bain, où très rapidement l'humidité relative de l'air peut augmenter. Le pouvoir tampon est alors intéressant.

Le mur est en effet capable de gérer ce pic

d'humidité en stockant puis restituant petit à petit jusqu'à l'équilibre de l'humidité dans le local.

C'est en partie grâce à ce pouvoir tampon que les humidités relatives mesurées dans des bâtiments en béton de chanvre sont toujours quasiment constantes et situées entre 40% et 60% (zone de confort).

MBV [g/(m².RH)]



Tampon hydrique de différents matériaux - MBV de différents matériaux de construction (Collet et al., 2013).

REMARQUE | la formule $MBV = \Delta m / A \cdot (HR_{haute} - HR_{basse})$

Δm : Variation de masse durant la phase d'adsorption ou de désorption (g)

A : surface d'échange (m²)

HRhaute / HRbasse : humidité relative haute et basse au cours du cycle (%)

La valeur tampon hydrique moyenne d'une formulation de béton de chanvre de type « Mur » réalisée par moulage-compactage est comprise entre 1,99 et 2,51 g/(m².%HR)

Étude menée au Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique de l'IUT Génie Civil de Rennes [Collet et al. (2012)]

Cette valeur moyenne de MBV = 2,25 g/(m².%HR) place le béton de chanvre dans la catégorie des excellents régulateurs hydriques au regard de la classification du Nordtest Project.

Incidence de la finition sur le pouvoir tampon |

Les performances du tampon hygroscopique dépendent du type de liant utilisé et du type de revêtement appliqué sur la surface de la paroi.

Des études sont conduites par CenC sur ce point. Néanmoins :

- Nous savons que lorsqu'il est recouvert d'un enduit de type sable/chaux d'un centimètre d'épaisseur, **la valeur tampon hydrique perd en moyenne 56% d'efficacité** (MBV = 1 g/(m².%HR)) par rapport à un mur en béton de chanvre laissé brut.

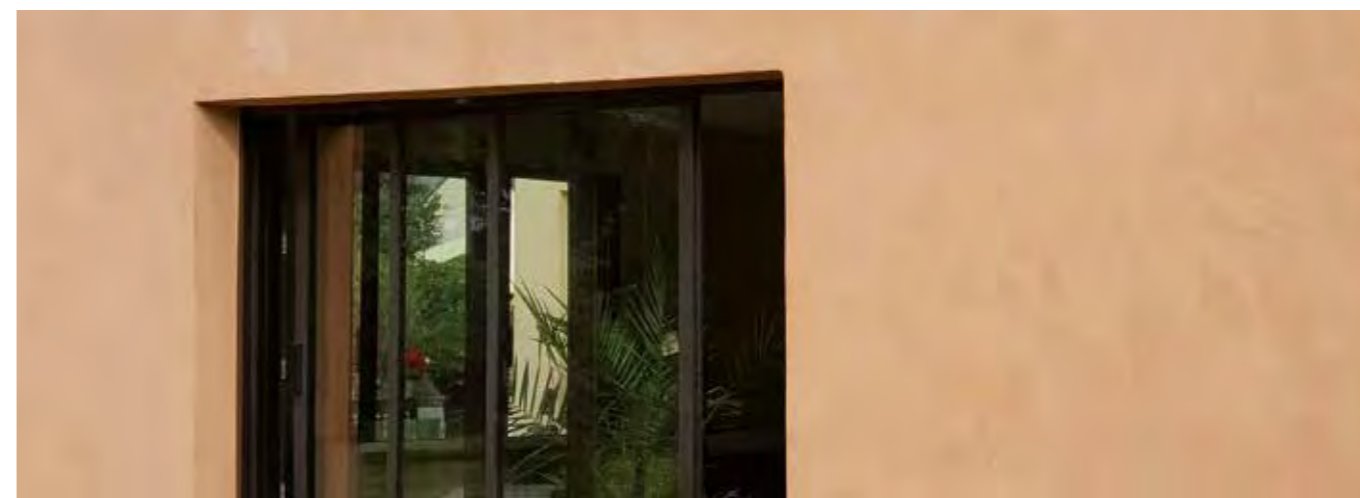
- Si un enduit plus ouvert de même épaisseur de type chanvre/chaux est appliqué, cette valeur est moins affectée. **Le tampon hydrique est environ 20% plus faible** : 1,79 g/m².%HR.

31^{èmes} Rencontres de l'AUGC, E.N.S. Cachan,
29 au 31 mai 2013
Florence COLLET, Sylvie PRETOT, Christophe LANOS.

À nouveau, on comprend que **la nature du revêtement** (type d'enduit ou plaque de parement, etc), son épaisseur et son application peuvent constituer des facteurs clés influençant :

- non seulement les propriétés thermiques et acoustiques vues précédemment comme l'effusivité, la diffusivité ou l'apport de masse interne.
- mais également la capacité de régulateur hygrométrique d'une paroi en béton de chanvre.

La notion de confort ressentie par l'utilisateur pourra donc varier selon le choix et la qualité des finitions.



Finitions enduits à la chaux.

Ces données sont d'autant plus vraies qu'elles sont systématiquement confirmées par les résultats des campagnes d'instrumentation menées par les chercheurs du laboratoire public d'Etat, le CEREMA. Les résultats montrent que le béton de chanvre participe largement à la qualité hygrothermique d'un bâtiment (zone de confort maison Atur).

Zone de confort maison Atur en 15251 |

Catégorie	Explication
1	Niveau élevé attendu qui est recommandé pour les espaces occupés par des personnes très sensibles et fragiles avec des exigences spécifiques comme des personnes handicapées, malades, de très jeunes enfants et des personnes âgées.
2	Niveau normal attendu qu'il convient d'utiliser pour les bâtiments neufs et les rénovations.
3	Niveau modéré acceptable attendu qui est peut être utilisé dans les bâtiments existants.
4	Valeurs en dehors des critères des catégories ci-dessus. Cette catégorie est acceptable pour une partie restreinte de l'année.

Une dernière propriété des bétons et mortiers de chanvre, et non des moindres, reste à expliciter. En effet, tous les points évoqués plus haut seraient incomplets si l'on omettait de parler d'une caractéristique unique : **les chaleurs latentes de changement d'état de l'eau.**



Chaleurs latentes de changement d'état de l'eau

RAPPEL |

Comme évoqué précédemment, les parois en béton de chanvre sont le siège de transferts hydriques. Selon l'humidité relative présente dans la pièce et selon le type de finition apposée sur le mur, de plus ou moins grandes quantités d'humidité transitent dans la paroi.

L'hygroscopicité du matériau lui confère cette propriété d'adsorber dans son réseau de pores de l'humidité et de la stocker sous deux états : eau vapeur et eau condensée capillaire (voir partie détaillée sur l'hygroscopicité).

Ce phénomène extrêmement important, est d'autant plus exceptionnel qu'il se produit grâce à l'alliance entre la chènevotte et le liant.

Cette particularité donne au béton de chanvre sa caractéristique unique d'agir comme un climatiseur naturel toute l'année.



EXPLICATIONS |

Que se passe-t-il lorsque l'eau change d'état ?
L'eau est un fluide qui, selon les conditions de température et de pression qui lui sont appliquées, peut changer d'état. Considérons seulement ici les états liquide et vapeur de l'eau.

- **À l'état liquide**, elle peut s'évaporer, mais pour cela, il faut la chauffer, dans une casserole par exemple. L'eau va donc consommer des calories pour s'évaporer. C'est une réaction dite endothermique. Cela va refroidir son environnement, là où elle va « prendre la chaleur ».

- **À l'état vapeur**, c'est l'inverse. L'eau vapeur est un état haut en énergie, donc pour retourner à l'état liquide, elle va libérer de l'énergie. C'est une réaction exothermique. Elle va chauffer son environnement.



Changement d'état de l'eau

Il amortit les variations thermiques et hygrométriques du bâtiment.
Les parois vont chauffer l'hiver et rafraîchir l'été grâce aux chaleurs latentes de changements d'état de l'eau dans le mur.
Essayons de comprendre ces phénomènes et leur impact sur le confort des usagers :

REMARQUE |

Ces changements d'état sont d'autant plus importants dans le béton de chanvre que l'eau possède ce que l'on nomme une enthalpie de changement d'état élevée. En effet, la chaleur latente de changement d'état de vaporisation de l'eau est de 2 264,76 kJ/kg. L'eau renferme beaucoup d'énergie que le béton de chanvre va utiliser pour la régulation hygrothermique.

Les performances sur le confort sont encore une fois proportionnelles aux caractéristiques des produits utilisés pour les finitions et leur mise en œuvre : composition des enduits, des liants, des plaques, continuité entre les revêtements et le béton de chanvre...

Plusieurs complexes de paroi et leurs caractéristiques seront présentés par la suite.



Brique monomasse



Béton de chanvre



Béton cellulaire

Application directe au béton de chanvre. Béton cellulaire, brique de terre cuite et béton de chanvre : trois matériaux ayant des coefficients Sd proches.

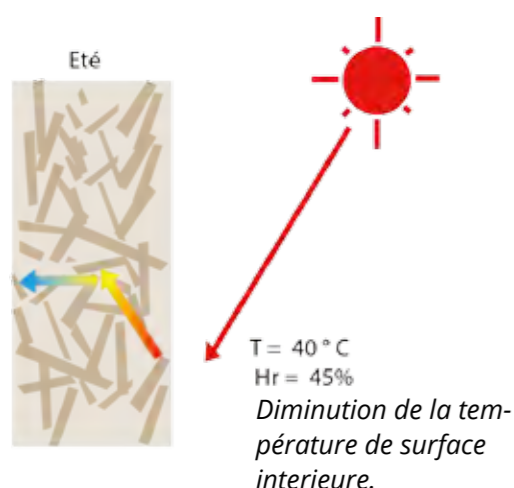
Les observations sur 30 cm de béton de chanvre, terre cuite et béton cellulaire (Samri 2008) montrent que pour les mêmes

sollicitations, lorsque la température extérieure augmente (ou diminue) la température intérieure au béton de chanvre présente un palier à 27°C contrairement aux autres matériaux : un pic maximum à 30°C pour le béton cellulaire et 33°C pour la terre cuite.

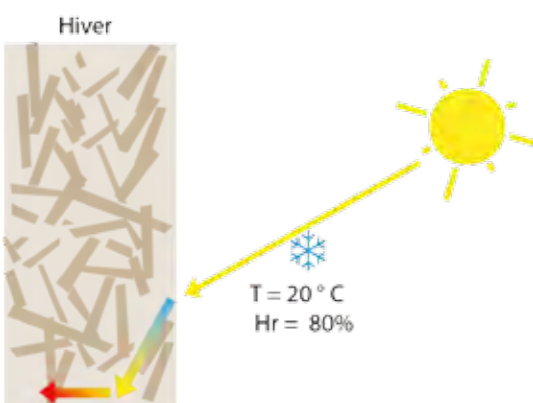
Amortissement hygrothermique du béton de chanvre

Une climatisation naturelle toute l'année.

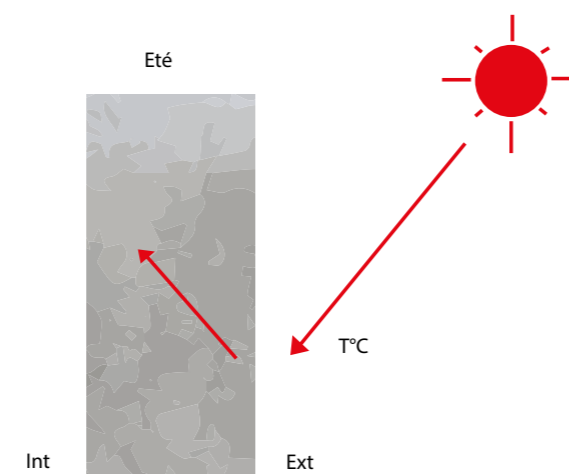
Confort d'été



Confort d'hiver



Augmentation de la température de surface intérieure.



Béton cellulaire, brique, terre cuite.

Il a été observé en laboratoire plus de cinq degrés d'atténuation de la hausse de température sur le palier d'augmentation de la température au sein du mur.

Ce palier participe à la climatisation naturelle opérée toute l'année par des parois en béton de chanvre optimisées, c'est à dire qui présentent des finitions cohérentes avec la perméance et le pouvoir tampon du béton de chanvre.

fonctionne comme un ensemble thermodynamique complexe et unique : un système capable de produire, stocker et d'échanger des calories avec son environnement. Il agit ainsi favorablement sur le confort des usagers.



Point de rosée

Pas de saturation dans la paroi

DEFINITION | Il y a point de rosée lorsque la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air vient saturer celui-ci. Le point de rosée est alors atteint, et l'excès de vapeur se condense en eau liquide.

Le point de rosée dans une paroi peut être atteint en hiver par exemple, lorsque la température dans la paroi diminue de l'intérieur vers l'extérieur. La vapeur peut dans certain cas se condenser en eau liquide.

Dans le cas des matériaux hygroscopiques, possédant une perméabilité à la vapeur d'eau forte, les points de rosée peuvent être éliminés. Le béton de chanvre mis en œuvre dans le respect des règles professionnelles permet en effet de les éviter.

Comme vu précédemment, le béton de chanvre est sujet à des phénomènes d'adsorption et de désorption, et dans certains cas d'humidité relative élevée, de condensation capillaire. La paroi utilisera ces propriétés pour amortir les variations thermiques et hydriques du bâtiment au cours des saisons. Mais il n'est pas sujet à la condensation par saturation (pression supérieure à la pression de vapeur saturante engendrant un point de rosée).

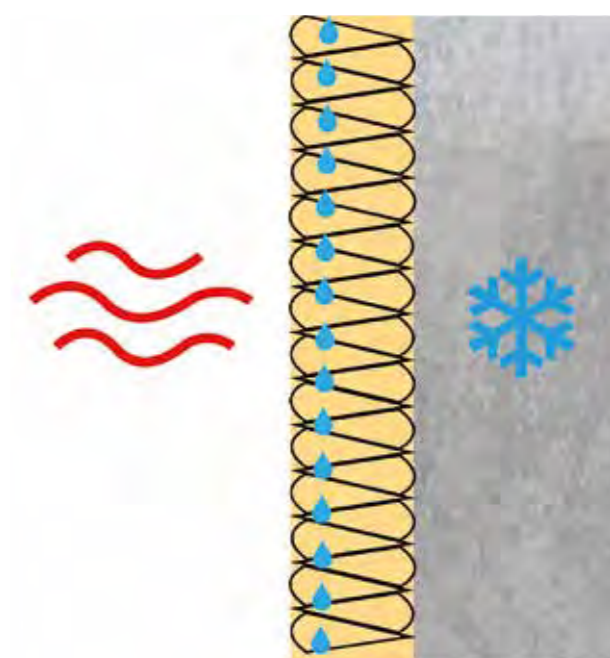


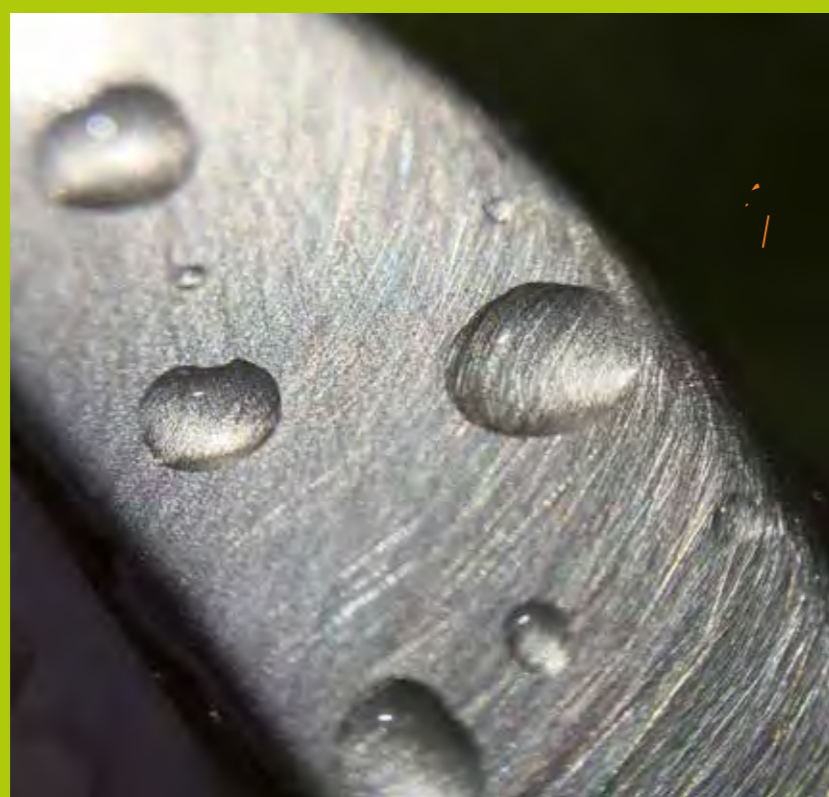
Schéma d'une paroi conventionnelle sujette à condensation.

Au contraire, la paroi en béton de chanvre, en abaissant l'humidité relative présente dans l'air d'une pièce, repousse le moment où la vapeur d'eau pourrait se condenser par saturation.

En fixant en son sein une partie de la vapeur d'eau contenue dans l'air, une paroi en béton de chanvre diminue l'humidité absolue (quantité de vapeur d'eau présente dans une masse d'air donnée en g/m^3 d'air).

C'est le gros avantage des matériaux hygroscopiques. Ils offrent en effet la possibilité d'abaisser la température pour laquelle il y aurait normalement un point de rosée, et dans certain cas, ils éviteront toute condensation dans le mur.

S'il vous est demandé pour vos projet de montrer l'absence de risques, la méthode de Glaser, même si elle ne prend pas en compte les phénomènes liés à l'hygroscopie, permet de montrer que le béton de chanvre ne présente pas de risque de condensation de vapeur d'eau.



© Nathalie Fichaux

RT 2012 et le béton de chanvre

Aujourd'hui, les projets neufs ou en rénovation obtiennent le label BBC effinergie, conformément à la RT 2012.

Cependant, comme présenté dans le module n°1, en réalité les ouvrages sont plus performants que les valeurs montrées par ces simulations. L'aspect de régulateur hydrique est aujourd'hui difficile à mettre en valeur au regard des paramètres pris en compte par les moteurs de calculs RT 2012.

Et pourtant, les propriétés liées à l'hygroscopie sont loin d'être négligeables dans l'approche hygrothermique des projets.

Paroi perspirante, amortissement des variations thermiques et hydriques, production de calories dans les murs, etc, ces phénomènes participent à la qualité de vie dans les ouvrages en béton de chanvre.

Un objectif à terme serait de montrer que l'association de tous ces phénomènes permettrait de diminuer l'importance de la ventilation dans les projets (sans pour autant la supprimer car elle reste indispensable pour le renouvellement de l'air).

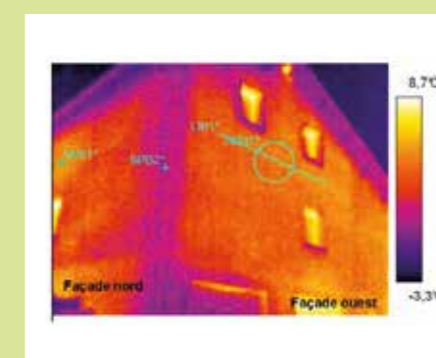
« On remarquera que selon plusieurs simulations thermiques dynamiques des parois perspirantes peuvent permettre à certaines périodes de l'année d'abaisser jusqu'à 30% de l'humidité intérieure d'un bâtiment. »

L'isolation thermique écologique, Jean-Pierre Oliva et Samuel Courgey, Éd. Terre Vivante 2010

La ventilation est nécessaire pour le renouvellement de l'air et non plus pour chasser l'humidité. Hors le débit nécessaire à l'évacuation de l'humidité est supérieur à celui nécessaire au simple renouvellement d'air.

Ainsi le réel dimensionnement d'une installation de ventilation pourrait tenir compte de cet avantage donné par le béton de chanvre.

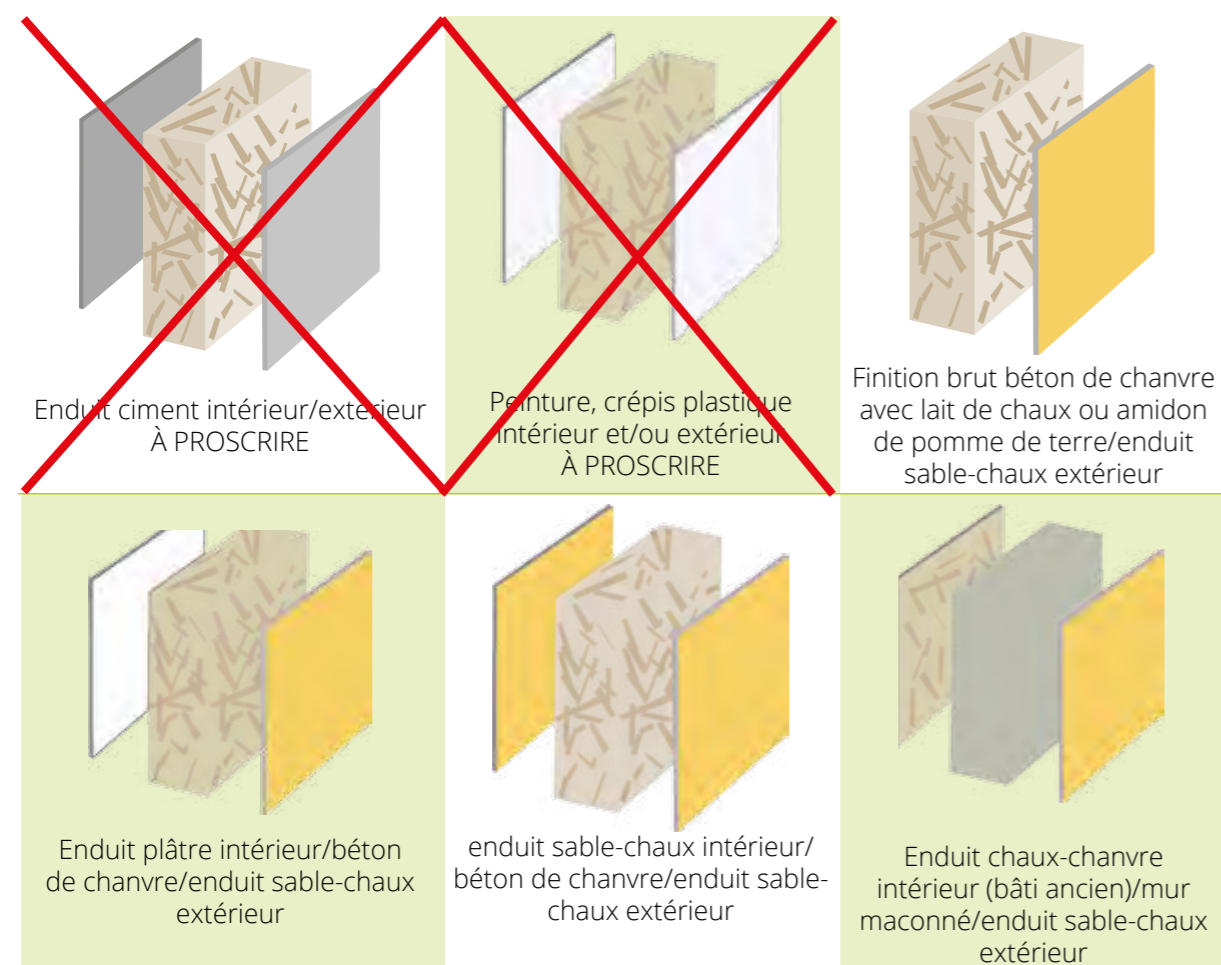
« Toutes les améliorations thermiques qu'offre le béton de chanvre, et qui ne sont pas encore intégrées dans les calculs réglementaires, pourraient améliorer de 30 à 50% les résultats des calculs. »



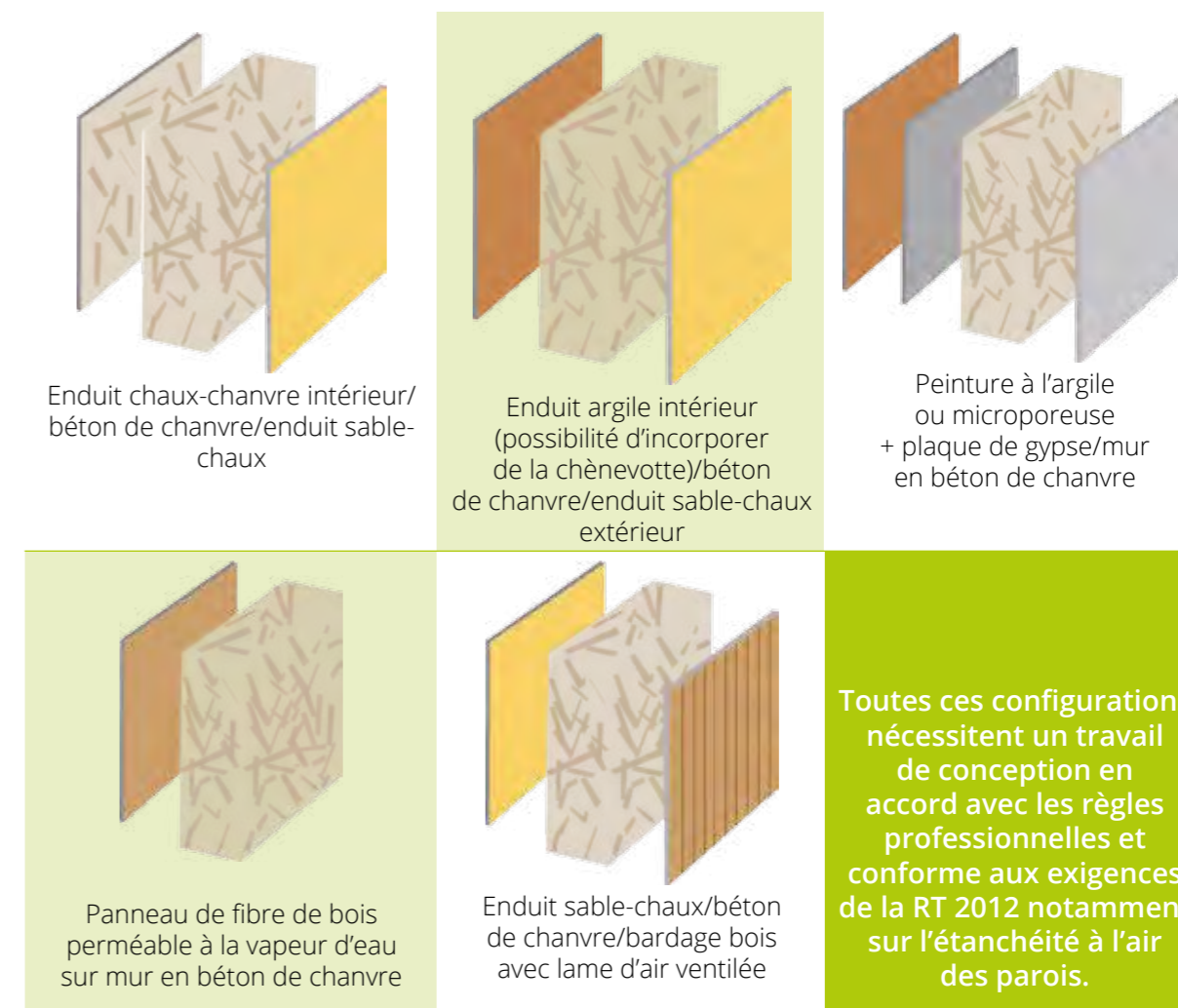
Visuel avec caméra thermique

Exemples de paroi différents complexes avec du béton de chanvre

Ces exemples ont été proposés au vu des connaissances actuelles que nous avons pu réunir sur le sujet. Ils ne représentent pas une seule manière idéale de construire.



En effet, il n'y a pas de solutions parfaites. Mais au vu des données scientifiques et des remontées de terrain que nous possédons, ces exemples donnent une indication sur ce qui est pertinent de faire lorsque l'on construit en chanvre.



3 - ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

Le contexte ————— 91 - 92

Le béton de chanvre
face aux quatre piliers de l'architecture bioclimatique ————— 93 - 95

N° 1 - L'insertion dans le site

N° 2 - Le matériau et son impact

N° 3 - Economie et sobriété

N° 4 - Confort et santé à l'intérieur

Les caractéristiques demandées à un mur bioclimatique ————— 96

Mettre en valeur l'aspect bioclimatique du béton de chanvre ————— 97 - 101

Les apports solaires

Compléter l'inertie thermique

Quelques exemples de matériaux

Le contexte du bioclimatisme

Dans les années 1970-1980, le bioclimatisme correspondait à l'optimisation, l'apport, le stockage solaire. Peu importait le matériau, béton ou bois. On ne parlait pas ou peu de l'impact carbone des constructions, mais plutôt de consommer peu pour créer une autarcie climatique.

Quant au béton de chanvre, il prend naissance en France dès 1986.

L'architecture bioclimatique était considérée comme une forme d'adéquation du projet à l'environnement et son climat.

Un des meilleurs ouvrages en la matière est sans conteste « le guide de la maison solaire » de Edward MAZRIA qui approfondit les connaissances bioclimatiques, et donne de nombreuses clés de compréhension.

L'architecture bioclimatique évolue en France dans le début des années 1990 avec l'entrée du matériau naturel, de la matière, des prémices de l'impact carbone des matériaux, de la lutte contre le gaspillage, de la qualité environnementale et sanitaire des bâtiments.

Une ONG édite alors en 1994 un fascicule « Maisons Toxiques » qui met en avant qu'une partie des matériaux du bâtiment peuvent être toxiques voir cancérigènes pour l'homme, et prévient les associations d'environnement de France et de Navarre...

La presse et les médias s'en emparent quelque peu.

L'émergence des produits dits « naturels » était antérieure dans certains pays européens du nord de l'Europe.

Le matériau naturel non toxique renaît alors par les termes d'éco-construction, ou de bio-construction.

Quant au béton de chanvre, il prend naissance en France dès 1986. Charles Rasetti, l'inventeur, ne le fait pas forcément dans l'optique de produire du naturel, mais plutôt de recycler la chènevotte, c'est-à-dire le bois du chanvre.

Produite par La Chanvrière de l'Aube, la chènevotte était alors considérée comme un déchet par rapport à la valorisation de la graine et de la fibre.

Très vite de nombreux pionniers de l'éco-construction trouvent ce nouveau mode constructif intéressant voire séduisant.

En parallèle, les institutions commencent à limiter certains polluants du bâtiment, et font évoluer la réglementation thermique (1974, 1982, 1988, 2000, 2005, 2012... 2020).

Après les années 2 000, le caractère bioclimatique s'affirme un peu plus : comment une rénovation ou un bâtiment neuf peut-il éviter d'avoir un impact carbone important, en profitant de l'environnement et en améliorant la qualité de vie des utilisateurs ?

Le terme bioclimatique devrait s'adapter parfaitement à la situation actuelle. La signature de l'accord sur la COP 21 engage tous les secteurs, dont celui de la construction, dans le but de diminuer largement leurs émissions carbone, de la création à l'utilisation de l'ouvrage jusqu'au recyclage.

Dans la suite de la COP 21, la RT 2020 prévoirait de prendre en compte l'ensemble du cycle de vie des matériaux...

Il est vrai que la RT 2012 est encore loin du compte.

La résistance thermique, l'étanchéité à l'air de l'enveloppe et les équipements techniques restent les seules données majeures des études thermiques.

Ces choix font que le bioclimatisme n'y est que très partiellement pris en compte.

Certains considèrent même nos bâtiments isolés comme des enveloppes en plastique munies d'une paille pour respirer.

Par ailleurs, la climatisation mécanique est obligée de revenir en force, car 20 cm d'isolant léger intérieur interdit toute climatisation naturelle par le matériau.

Et le bioclimatisme alors ?

Le bioclimatisme est essentiel pour chaque projet, mais comment faire du bioclimatisme alors que la plupart de nos modes constructifs ne sont pas adaptés à cette science.

- Qu'en est t-il de la régulation hygrothermique, du tampon hydrique donnés par les matériaux ?
- Quel phénomène abaisse la température de confort ou la température ressentie ?
- Qu'en est t-il du stockage, du déphasage thermique ?
- Qu'en est t-il de l'effusivité des matériaux, de la chaleur surfacique d'émission d'un matériau ?
- Qu'en est t-il du changement de phase du béton de chanvre ?

Autant de paramètres bioclimatiques qui ne sont pas suffisamment pris en compte mais qui pourraient modifier considérablement l'approche thermique d'un bâtiment, et valoriser l'ensemble des matériaux biosourcés.

L'approche bioclimatique se résume aujourd'hui à une proportion de vitrage selon les façades et une forme d'inertie, alors qu'elle devrait être le point central des réglementations.

Le béton de chanvre

face aux quatre piliers de l'architecture bioclimatique



N° 1 L'insertion dans le site

On peut considérer que l'insertion dans le site est la meilleure réponse que peut offrir un lieu.

Profiter du soleil, s'abriter du vent, créer des espaces tampons, etc.

Cette insertion dans le site est un exercice architectural, c'est l'optimisation de la liaison avec l'environnement. Une bonne insertion est la base du bioclimatisme.

La réponse architecturale pour l'insertion dans le site est conditionnée aussi par les matériaux. Ceux-ci sont les vecteurs de l'architecture bioclimatique, et sont capables de la mettre en valeur ou pas.

Faut-il donc adapter la forme au matériau ? La réponse peut être débattue, mais comme tout mode constructif, le béton de chanvre a son type de dessin, de résolution spatiale ou d'adaptation à la forme.

Sous les climats tempérés, les variétés françaises ne nécessitent pas d'apport en eau, contrairement à d'autres cultures.

Construire en béton de chanvre participe donc à un acte vertueux pour l'agriculture, l'industrie et le bâtiment. C'est une réponse claire à l'insertion dans les territoires. Ce n'est pas en fabricant du plastique avec du pétrole que l'on obtient le même résultat.

L'insertion dans le site pose ici un objectif tout aussi important que la réponse spatiale bioclimatique. Il est question de rentrer dans un équilibre régional bénéfique autant pour l'agriculture que pour l'industrie et le bâtiment.

De nombreux territoires s'affaiblissent alors que les métropoles grandissent. Dans ce contexte, la filière chanvre a la particularité de toucher plusieurs secteurs d'activités et de transformation et peut participer au dynamisme des territoires. Certains tentent même de faire émerger des circuits locaux.

Construire en Chanvre permet de participer à l'équilibre du bilan financier de la culture en lui permettant une meilleure rentabilité.

Le chanvre est utilisé en rotation des cultures. Il ne nécessite pas d'intrants, et permet d'améliorer la qualité du sol en réduisant les intrants pour les cultures suivantes.

Il peut aider ainsi à la dépollution des sols et des nappes phréatiques.

Le chanvre réussit son premier objectif : être intéressant pour les territoires en établissant des « bassins » régionaux.



N° 2

Le matériau et son impact

Le matériau dit naturel subit peu de transformation, il ne doit pas avoir d'impact négatif sur la santé, et son empreinte écologique doit être la plus faible possible.

Le plus utilisé, le bois, choisit dans les forêts durablement gérées répond à ces critères.

Toutes les constructions et rénovations n'utilisant pas ces matériaux, ont pour la plupart un impact négatif pour l'environnement et l'homme.

L'association bois et chanvre que l'on trouve dans certaines constructions neuves permet cette complémentarité intéressante. L'impact négatif des constructions sur l'envi-

ronnement peut être alors largement diminué voir annulé.

Certaines études prouvent la diminution d'un facteur quatre de l'impact environnemental des constructions en béton de chanvre, mais on peut aller plus loin et approcher le facteur dix.

Quant au chantier, les déchets de chanvre ou de bois laissés sur un chantier sont très facilement utilisables ou réintroduits dans la terre.

Le chanvre, le lin, la paille, le liège plus au sud, voire d'autres matériaux végétaux, peuvent répondre aux critères de moindre impact environnemental.



N° 3

Economie et sobriété d'usage

La RT 2012, même si elle devait permettre de rendre les bâtiments BBC, fut confrontée aux systèmes constructifs existants.

De nombreux effets pervers ont suivi. Les entreprises et architectes qui n'ont pas pu remettre en cause leurs modes constructifs, particulièrement l'isolation par l'intérieur, se sont reportés vers les technologies d'appareillages complexes pour régler entre autres les problèmes de climatisation.

D'autre part, les émissions carbone liées à la création de ces types de bâtiments dits conventionnels se sont avérées nettement supérieures à d'autres bâtiments plus anciens.

Enfin, les frais de maintenance ont explosé pour faire face à la nouvelle réglementation, car tous les appareillages mécaniques et l'électronique embarquée nécessitent des réparations et un entretien particuliers.

Le béton de chanvre selon une bonne conception de l'ouvrage, règle les deux problèmes principaux de sobriété et d'usage :

Un bâtiment RT 2012 en béton de chanvre et selon une conception adaptée approche le niveau passif de l'enveloppe :

- très peu de besoin de chauffage,
- absence de besoin de climatisation.



N° 4

Confort et santé à l'intérieur

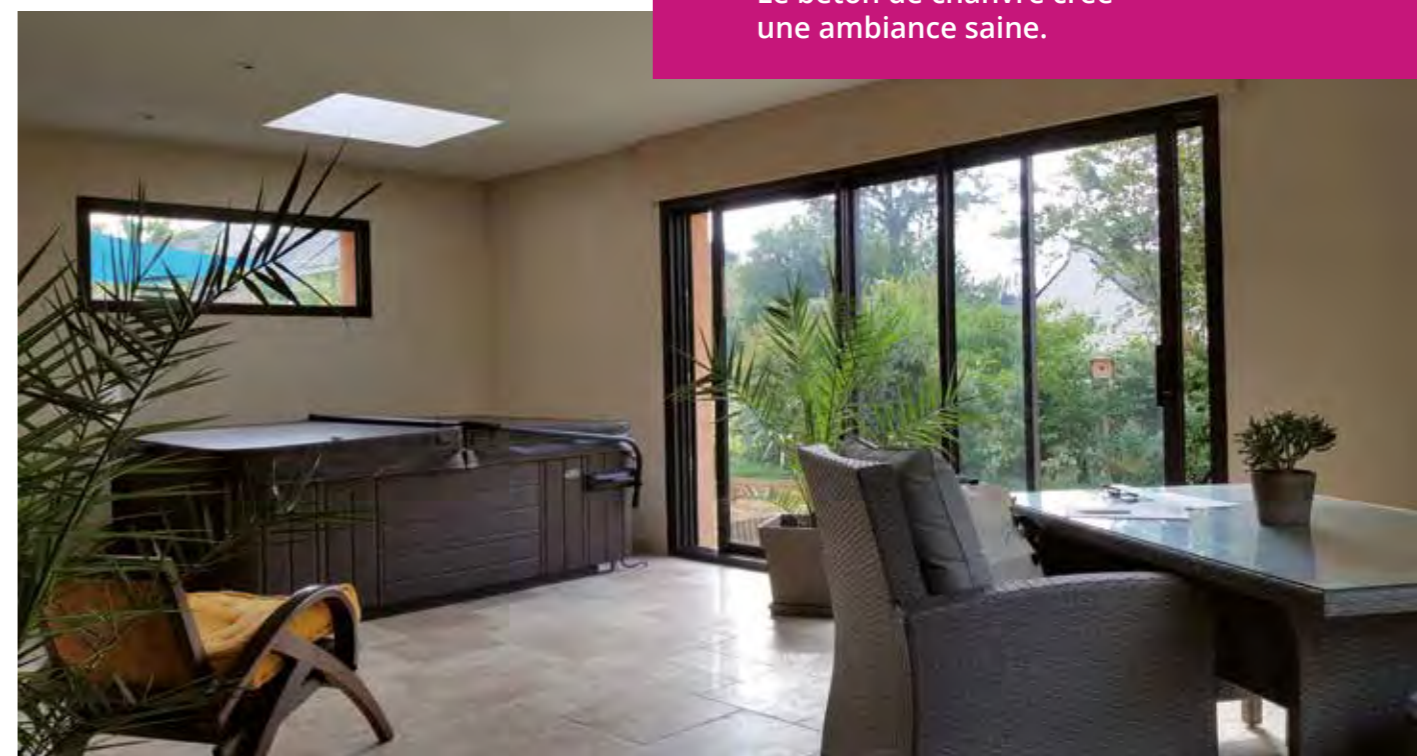
Le confort du béton de chanvre est particulièrement apporté par les murs.

En étant un formidable régulateur hygrothermique, en maintenant une humidité entre 50 et 60% tout au long de l'année, le béton de chanvre crée une ambiance saine, défavorable aux acariens et autres bactéries. La chaux participe aussi à cet assainissement ambiant.

Le confort d'un bâtiment en béton de chanvre est donné aussi par une climatisation naturelle l'été, et un effet de rayonnement chaud des murs l'hiver.

Les différentes finitions qui peuvent y être associées favorablement, comme les enduits d'argile ou de chaux-chanvre, participent à la qualité visuelle et olfactive de ce mode constructif.

Le béton de chanvre crée une ambiance saine.



Extension accueillant un jacuzzi - enduit chaux/chanvre sur béton de chanvre régulant l'humidité.

Les caractéristiques demandées à un mur bioclimatique

Le béton de chanvre, qu'il soit utilisé en neuf ou en rénovation intérieure sur des murs en pierre, réunit l'ensemble des caractéristiques que l'on pourrait demander à un système constructif bioclimatique.

L'inertie thermique qui permet de stocker l'énergie est importante dans le béton de chanvre.

Les produits sans inertie retardent simplement le flux de chaleur.

Donc on demande à un système constructif de retarder la diffusion, de stocker la chaleur et d'être un véritable tampon ou amortisseur thermique aux aléas extérieurs.

C'est ce que fait un mur en ossature bois et béton de chanvre, ou un mur rénové avec du béton de chanvre.

De plus, le changement de phase de l'eau qui s'opère dans un mur en béton de chanvre, va produire des calories quand la température extérieure est plus basse, par surpression de

l'intérieur vers l'extérieur, et va rafraîchir l'air intérieur quand la température extérieure est supérieure à l'intérieur.

Ce phénomène est unique.

Suite à une instrumentation réalisée par le CEREMA, on relève 95% d'amortissement de température sur une paroi de 30 cm en béton de chanvre en été, soit un confort d'été optimal. L'effusivité du béton de chanvre est tout à fait particulière, et n'a rien à voir non plus avec les matériaux froids qui font grimper la température nécessaire au confort, ou au ressenti.

Ces points détaillés sur le précédent chapitre montrent les grandes qualités bioclimatiques du béton de chanvre à savoir le meilleur compromis entre inertie et isolation.

Le mur en béton de chanvre est excellent pour finaliser les projets bioclimatiques.

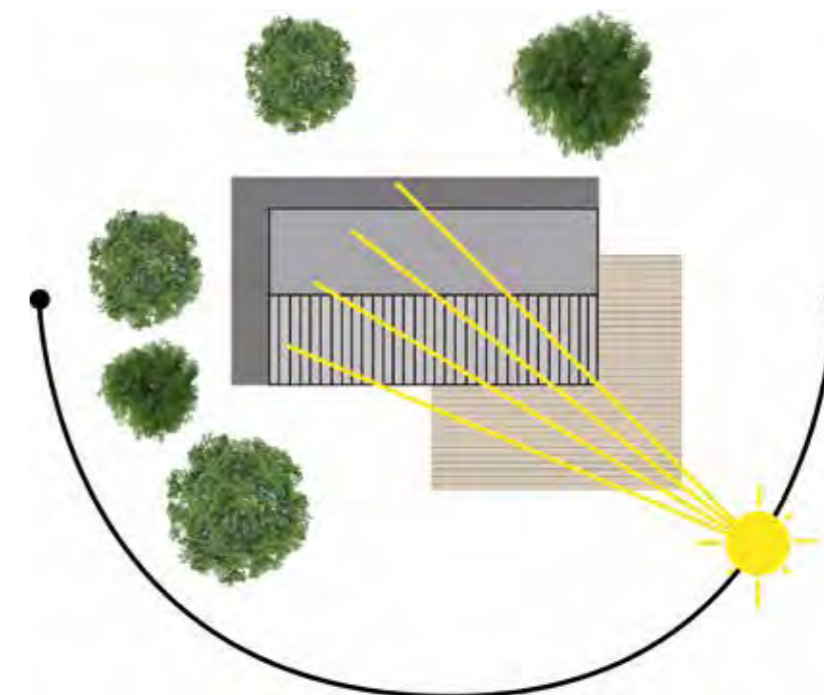


Mettre en valeur l'aspect bioclimatique du béton de chanvre

Le système constructif avec béton de chanvre permet donc de stocker les apports solaires et de les restituer au mieux.

Comment alors mettre en valeur et réussir, son projet en béton de chanvre ?

Il ne s'agit pas de reprendre « le guide de la maison solaire » de Edward Mazria, ou de rappeler la conception bioclimatique en général, mais de rappeler les quelques réflexes de la conception bioclimatique adaptés au béton de chanvre.



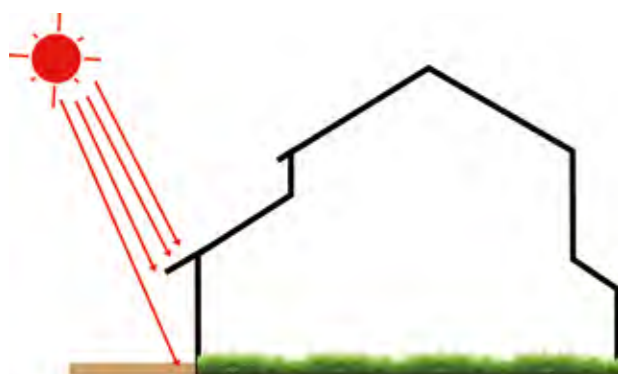
L'orientation du bâtiment est déterminante, même si dans la plupart des cas elle est impossible à choisir.

Il s'agit alors d'optimiser l'orientation par rapport au positionnement des pièces à vivre, et des pièces tampons.

Plus le soleil est perpendiculaire aux vitrages, plus la quantité d'énergie transmise sera importante.

Une maison bien conçue permettra des apports solaires importants l'hiver et en demi-saison, mais en apportera peu en été. Une exposition plein sud permettra de gérer plus facilement les apports solaires d'été.

Plus le rayonnement est perpendiculaire aux vitrages, plus la quantité d'énergie transmise sera importante.



Débord de toiture participant au confort d'été.

Une exposition sud-ouest et sud-est risque des apports importants en été, avec une montée en température des pièces exposées du bâtiment.



Les apports solaires par le vitrage

Le béton de chanvre prend toute sa dimension avec l'apport solaire par les vitrages. On parle de 'facteur solaire' du vitrage, voir de contrôle solaire du vitrage. Tout dépend de ce que l'on cherche.

Chaque vitrage, double ou triple, possède son propre facteur solaire selon sa composition et son épaisseur.

Dans notre cas, il faut rechercher le facteur solaire.

Il en va de même pour l'exposition ouest, ou en fin d'après-midi quand la température est encore très haute, le rayonnement solaire perpendiculaire aux vitrages transmettra beaucoup d'énergie.

Il sera donc nécessaire d'y prévoir des occultations extérieures, ou des brise-soleils orientés pour le rayonnement d'été.

Penser son orientation, ses pièces tampons, ses ouvertures, sa forme et la base du projet bioclimatique.

Les triples vitrages qui sont nécessaires (quand il n'y a pas de fermetures extérieures) peuvent avoir un facteur solaire trop bas de l'ordre de 30 à 40%. Ceci est contre-productif avec le béton de chanvre.

D'ailleurs en façade exposée au soleil, un triple vitrage peut avoir un bilan apport/déperdition moins bon qu'un double vitrage VIR.

Ainsi, il faut exiger dans le cas d'un triple vitrage, un facteur solaire supérieur ou égal à 60% pour les façades qui reçoivent le soleil.



Compléter l'inertie thermique pour améliorer encore le déphasage

Le béton de chanvre apporte une inertie thermique importante grâce entre autre à sa chaleur spécifique élevée autour de 1600 J/kg.K-1.

Ces inerties complètent le dispositif bioclimatique mis en œuvre, par le projet, le système constructif en béton de chanvre, et l'apport solaire par les vitrages.

L'inertie recherchée peut être renforcée par des choix de couleur des matériaux recevant les rayons solaires, ainsi que les types de surface mises en œuvres (mate, rugueuses...).

Ces choix peuvent amplifier le coefficient d'absorption des surfaces.

Deux types d'inertie peuvent être recherchés pour leurs qualités à différents endroits du bâtiment :

- l'inertie de transmission,
- l'inertie superficielle.



Inertie intérieure complémentaire apportée par les briques de terre crue entourant le poêle.



Quelques exemples de matériaux pour compléter le béton de chanvre

La brique de terre crue :

Vivante, elle possède une chaleur spécifique de 50% supérieure à la brique de terre cuite. Elle a les capacités de compléter le tampon thermique et donc d'encaisser rapidement des variations.

Avec ce matériau, on peut réaliser par exemple un mur décoratif intérieur, un entourage de poêle en respectant les distances liées au comportement au feu.

Elle accentue les différentes inerties.

Les enduits d'argile :

Sur les murs en béton de chanvre, ils complètent l'inertie superficielle.

Ils vont rapidement stocker l'énergie solaire et la transmettre en partie au béton de chanvre.

Ils seront très bons pour le confort d'été ainsi que dans les pièces à vivre de type séjour où on retrouve une production de chaleur.

Les enduits d'argile possèdent une grande effusivité qui limitera l'élévation de température dans le local.

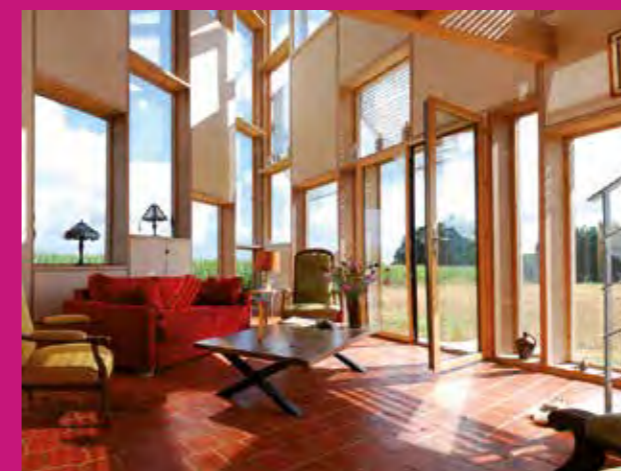
Une finition chaux-chanvre :

Elle possède une plus faible effusivité et sera conseillée dans les chambres pour la sensation de chaleur qu'elle dégage.

Elle complétera le dispositif bioclimatique recherché et permettra d'abaisser la température de confort ou ressentie tout en apportant une contribution partielle sur l'inertie intérieure selon le dosage employé et le traitement de la surface (lisse, brossé, etc.)

Une isolation de toiture en béton de chanvre :

Dans les régions où la température d'été peut être élevée, climat continental ou méditerranéen par exemple, il sera intéressant de réaliser une toiture en béton de chanvre qui aura l'avantage d'accentuer fortement le dispositif de climatisation naturelle recherchée.



Maison individuelle de Yann Roinnel architecte.

Toutes les finitions auront un impact visuel et technique

Les finitions sont prépondérantes et le choix de celles-ci qui peut dépendre de l'esthétique recherchée ou de l'entretien à éviter, ne sera pas sans impact sur notre vie.

Une chambre où l'on aura besoin d'une sensation de chaleur, sans que la température soit aussi élevée qu'un séjour, pourra être habillée par un parquet au sol, chaud au contact des pieds, et un enduit chaux-chanvre sur les murs.

Une salle de bain en carrelage et faïence donnera un sentiment de froid, sauf si celle-ci est surchauffée par rapport au reste de la maison.

Il sera intéressant alors de trouver quelques m² de murs en argile ou en chaux-chanvre ou en bois pour atténuer ce sentiment.

Toutes les finitions auront un impact visuel et technique et peuvent compléter, améliorer, ou au contraire annuler en partie les dispositifs mis en œuvre.

Enfin pour accompagner le béton de chanvre, il faudra réfléchir à l'ensemble des éléments qui s'adaptent à lui pour mettre en valeur ses qualités exceptionnelles.

4 - LES EXCELLENTE PERFORMANCES DU BETON DE CHANVRE

ENVIRONNEMENTALE, SANITAIRE, DURABILITE, COMPORTEMENT AU FEU ET ACOUSTIQUE

Déclarations environnementales et sanitaires

103 - 107

- Une filière globale
- ACV
- FDES
- Label bâtiment biosourcé
- Qualité de l'air intérieur : la santé en question

Le béton de chanvre agit pour la qualité des bâtiments

108 - 111

- Une durabilité forte
- Comportement au feu (complément au module 1 et 4)
- Acoustique (rappel avant module 4 : synthèse des connaissances R&D)

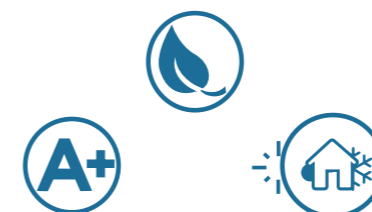
Préambule

Cette partie vise à renforcer l'argumentaire en faveur de l'utilisation du béton de chanvre dans la construction.

Le guide des bonnes pratiques n°1 et les parties précédentes ont montré que la filière chanvre bâtiment apportait des réponses aux enjeux sociétaux, environnementaux et techniques que connaît notre société : appauvrissement des ressources fossiles, pollution des terres agricoles, larges émissions de gaz à effet de serre, développement de pathologies sanitaires chez certaines personnes dans le cas de logements trop humides et surchauffés, augmentation des coûts liés au chauffage, etc.

Pour tous ces points, la filière chanvre construction apporte des solutions pertinentes.

Les trois qualités :



Déclarations environnementales et sanitaires



Une filière globale
Transversalité inédite

Construire en chanvre, c'est avant tout adhérer à un mode constructif issu d'une filière complète et vertueuse à bien des niveaux. La transversalité de la filière chanvre en fait un matériau unique aux applications nombreuses.

Avec des débouchés en alimentation, en plasturgie et en construction, l'impact social de la structuration de la filière chanvre en France agit directement en faveur de l'emploi dans les territoires. Côté environnement, le chanvre entre également dans les objectifs de rotation des cultures. Ayant l'effet d'une bouffée d'air sur des champs abritant des cultures céréalières, le chanvre est une excellente tête d'assolement. Peu gourmand en eau et en intrants, ne nécessitant pas de traitement phytosanitaire, la culture est intéressante pour les agriculteurs. Avec un développement de la filière chanvre construction, les remontés économiques seraient non négligeables pour eux.



Construire en chanvre, c'est avant tout adhérer à un mode constructif issu d'une filière complète et vertueuse à bien des niveaux.

Pour plus d'informations sur la filière chanvre en France, se rapporter au guide tome 1.



ACV

Analyse de cycle de vie

Une analyse de cycle de vie permet de mesurer les impacts environnementaux d'un produit. L'ACV n'est pas réservé qu'aux produits du BTP.

Cet outil qui quantifie l'impact des matériaux sur l'environnement est très utile et devient de plus en plus indispensable.

Dans le secteur du bâtiment, l'ACV permet de comparer directement l'impact d'un produit avec celui de son concurrent par exemple.

Les données de bases utilisées et la méthode employée pour rédiger cette analyse repose sur la série de norme ISO 14040.

Les bétons et mortiers de chanvre sont parmi les premiers matériaux de construction à posséder une ACV en 2006.

Et surtout, cette analyse montre l'impact positif de la construction en chanvre sur l'environnement.

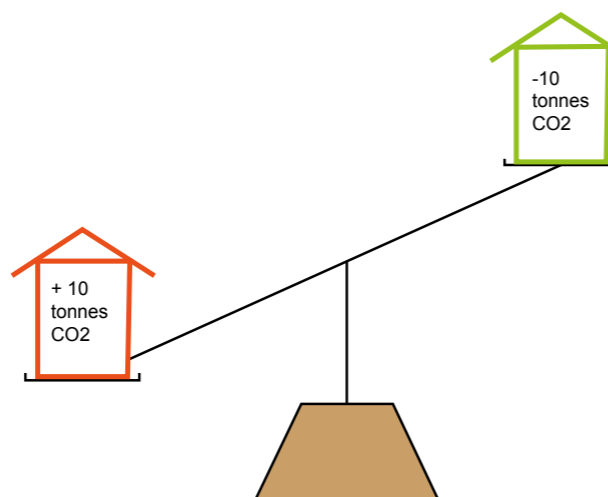
L'analyse nous montre que le béton de chanvre mis en œuvre avec une ossature bois permet de dépolluer l'acte de construire.

REMARQUE | L'analyse du cycle de vie d'un mur en béton de chanvre banché sur ossature bois est disponible en téléchargement sur www.construire-en-chanvre.fr

Ce que l'on retiendra de cette ACV, c'est que pour une durée de vie de référence de 100 ans, un module d'1 m² de béton de chanvre de 35 cm d'épaisseur avec son ossature bois stocke environ 48 kg de CO₂ équivalent.

En comparaison, les émissions d'un mur construit selon la méthode conventionnelle (solution parpaing + isolant) sont d'environ 100 kg CO₂/m².

BEV 08 = R. Bevan, T. Woolley,
Hemp lime construction – A guide to building with
hemp lime Composites,
Building Research Establishment Press, 2008.



FDES

Fiche de déclaration environnementale et sanitaire

Il existe un autre outil d'information sur les impacts environnementaux d'un produit : les FDES ou Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire. Ce document est entre autre basé sur les résultats de l'analyse de cycle de vie du produit.

Les FDES respectent la norme AFNOR NF P 01-010, et surtout elles prennent en compte l'ensemble du cycle de vie du produit concerné.

De plus en plus de FDES sont en libre consultation et téléchargement via la base virtuelle INIES, à l'adresse www.inies.fr, rubrique consultation.

Dans le cas des mortiers et bétons de chanvre, la version en ligne concerne une structure de mur non-porteuse en béton de chanvre projeté.

La FDES concerne le produit « béton de chanvre » par conséquent, contrairement à l'ACV, elle ne prend pas en compte l'impact favorable sur le bilan carbone de l'ossature bois. Les résultats sont donc différents. Mais ils

restent cependant très bons face à d'autres systèmes constructifs conventionnels.

La FDES est un outil de base, et comme pour l'ACV, elle demandera une mise à jour en fonction de l'évolution des connaissances relatives à la construction en chanvre. Notamment, sur l'entrée du produit dans l'économie circulaire qui est réalisable mais qui doit être quantifiée (voir module 1 pour plus de détails).

L'association Construire en Chanvre travaille actuellement sur cet aspect.



Label bâtiment biosourcé

Mettre en valeur la biomasse

La mise en place du label « bâtiment biosourcé » fait suite au décret n° 2012-518 du 19 avril 2012.

Adressé aux maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, constructeurs, promoteurs mais aussi aux architectes, organismes de certification et entreprises du bâtiment, ce label a été créé dans le but de valoriser l'utilisation de matériaux biosourcés dans la construction.

Ce label, décerné par des organismes tels que Céquami ou Certivé, évalue les critères énergétiques et environnementaux du bâtiment.

On retrouvera l'objectif d'utilisation d'au moins trois matériaux issus de la biomasse végétale ou animale : bois, chanvre, lin, paille, laine de mouton, plumes...

Pour plus d'informations sur l'obtention du label www.legifrance.gouv.fr.



Qualité de l'air intérieur la santé en question

Cet aspect de la qualité de l'air commence à être pris en compte dans les appels d'offres.

Des outils comme la FDES y font notamment mention. C'est un des avantages les plus forts du système constructif à base de bétons et mortiers de chanvre. Nous l'avons vu notamment dans la partie sur l'hygrothermie, l'obtention d'un air sain peut passer par le contrôle et la régulation du taux d'humidité relative et de la température de l'air, ce à quoi contribue naturellement le béton de chanvre.

Et en effet, dans ses Lignes Directrices relatives à l'humidité et aux moisissures, l'OMS nous informe que :

les études menées dans différents pays et sous différentes conditions climatiques apportent des témoignages épidémiologiques suffisants pour démontrer que **les occupants de bâtiments humides** et dans lesquels des moisissures sont présentes, que ce soit dans les logements privés ou dans des bâtiments publics, sont exposés à un risque accru de symptômes ou d'infections respiratoires et d'asthme aggravés. Dans certains cas, les observations faites pointent un risque accru de rhinite allergique et d'asthme.

Même si l'on ne dispose que de rares études portant sur des interventions correctives, **leurs résultats indiquent qu'en réduisant l'humidité, on atténue les effets nocifs pour la santé.**

Des preuves cliniques témoignent que l'exposition aux moisissures et à d'autres agents microbiens liés à l'humidité des bâtiments renforce le risque de pathologies rares telles que la pneumopathie ou d'hypersensibilité, telle que l'alvéolite allergique, la rhino-sinuite chronique et la sinusite fongique allergique.

Lignes Directrices OMS relatives à la qualité de l'air intérieur des habitations : humidité et moisissures
2009 Walinder *et al.*, 2005.

En règle générale, dans le bâti conventionnel, pour réguler l'humidité dans les logements, on chauffe davantage tout en ventilant beaucoup, ce qui entraîne des surconsommations énergétiques.

Les systèmes constructifs à base de béton de chanvre régulent de manière naturelle ces variations d'humidité et de température.

Comme le souligne justement Driss Samri, chercheur au CEREMA du sud-ouest :

Le béton de chanvre contribue à limiter les problèmes de condensation et de moisissures sur les parois, nuisibles au confort sanitaire des ambiances.

Samri - CEREMA - 2008



Moisissures d'humidité

© Nathalie Fichaux

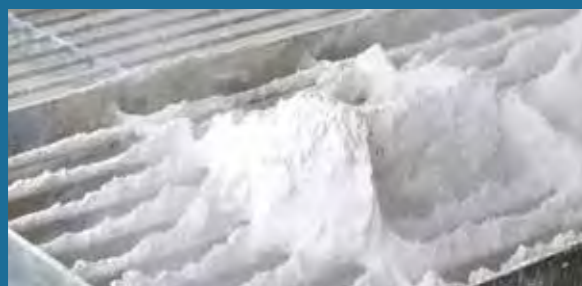
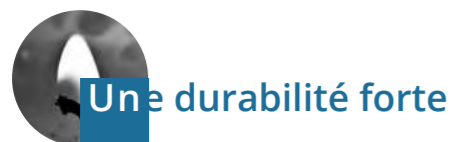
COV : Éligible au label bâtiment biosourcé, le béton de chanvre possède un étiquetage sanitaire conforme au décret du label : le mélange liant/chanvre ne contient pas de composés organiques volatils au sens de la série des normes ISO-16000 (pour plus d'infos sur les COV nous vous conseillons de vous adresser directement aux fabricants de liants et de chènevotte).



En réduisant l'humidité, on atténue les effets nocifs pour la santé.

Le béton de chanvre agit pour la qualité des bâtiments

En plus des impacts environnementaux et sanitaire positifs, la construction en chanvre agit aussi pour la durabilité et la qualité des ouvrages. Les caractéristiques intrinsèques de ses composants que sont la chaux et la chènevotte lui confèrent des performances exceptionnelles de durabilité, comportement au feu et acoustique.



Chaux



Chènevotte

Le chanvre est depuis toujours connu pour sa durabilité naturelle.

Que ce soit pour la robustesse de sa fibre ou pour la résistance de la chènevotte, le chanvre est un matériau durable.

Pour ce qui concerne la chènevotte, celle-ci n'est pas sujette aux attaques de ravageurs. **À l'origine de cette caractéristique se trouve la forte teneur en silice de la chènevotte.**

S'ajoute à cela la durabilité propre à son liant à base de chaux. La présence de chaux rend le milieu alcalin et donne au mur des

particularités biocides, notamment bactéricides.

Dans le cadre des règles professionnelles, il est indispensable d'appliquer une finition à l'extérieur sur le béton de chanvre qui assure une protection renforcée contre les attaques type intempéries, coups, vent, soleil, etc.

La combinaison de ces deux produits, le chanvre et son liant, donne aux murs une durabilité exemplaire.

C'est d'ailleurs pour cette raison que l'ACV a pour durée de vie de référence 100 ans, ce qui est une période importante lorsque l'on aborde la vie d'un bâtiment aujourd'hui.



Le béton de chanvre présente une excellente réaction au feu. Celui-ci ne se propage que très lentement. De plus, le feu n'engendre pas de chute de débris enflammés, et les fumées occasionnées sont minimales.

Définitions de base

Lorsque l'on aborde le comportement au feu d'une paroi, on définit deux attitudes :

- **La réaction au feu** à savoir son comportement face à un incendie (combustibilité, production de fumée, production de débris enflammés), est caractérisée par euroclasses (ancien classement M).
- **La résistance au feu** est la durée de temps pendant laquelle l'élément de construction joue son rôle de limitation de la propagation du feu en conservant ses propriétés mécaniques.

Réaction au feu des bétons de chanvre

La réaction au feu d'un mur fini, ou d'un enduit hygrothermique en mortier de chanvre, le classe dans la catégorie française M0, incombustible, au côté de la pierre, brique, ciment, tuiles, béton, verre, laine de roche, etc. Dans la classification européenne EN 13501-1, il rentre dans la catégorie A2 S1 d0 :

- A2 = produits peu ou très peu combustibles
- S1 = production de fumée très limitée
- d0 = pas de production de gouttes ou de débris enflammés.

Construire en Chanvre travaille sur un générique qui pourrait donner des premiers résultats de résistance.



Béton de chanvre soumis au feu

REMARQUE | Même si les bétons et mortiers de chanvre ont un excellent comportement vis à vis du feu, il est en revanche difficile de le mettre en valeur au niveau des réglementations. En effet, alors qu'au niveau des Euroclasses il n'y a pas de souci pour caractériser le matériau, au niveau de la réglementation française sur la résistance au feu d'un matériau au niveau de la réglementation française.



rappel avant module 4 : synthèse des connaissances R&D

On considère qu'un matériau est un bon isolant acoustique à partir du moment où celui-ci est capable :

- d'absorber une partie des sons émis dans un local.
- d'affaiblir la pénétration des sons extérieurs.



Porosité macroscopique

La bonne performance acoustique du béton de chanvre est due à sa porosité forte et à la composition de la chènevotte.

La chènevotte est une particule qui présente un indice de vide élevé et une anisotropie.

Le passage d'une onde acoustique va mettre en vibration les molécules d'air qui vont venir se frotter et déformer les parois des pores présents dans la chènevotte, et ainsi convertir leur énergie acoustique en énergie thermique.

Cette porosité offre donc au béton de chanvre un bon comportement acoustique sans altérer son étanchéité à l'air.

Le béton de chanvre est considéré comme un bon isolant acoustique car il est capable d'absorber les sons et de les affaiblir.

Quelques valeurs (bande d'octave à 500Hz) :

- Le coefficient d'absorption α qui peut atteindre 80% (pic entre 400 et 500Hz) pour certains bétons et mortiers de chanvre.

Cette valeur de 80% signifie que la paroi pourra dissiper 80% de l'énergie de l'onde acoustique venant la frapper (l'absorption acoustique étant conditionnée, entre autre, par le choix du liant et le type de chènevotte mis en œuvre).

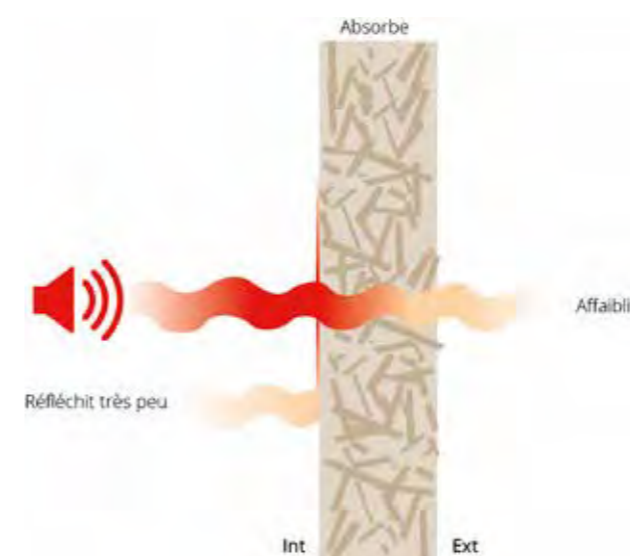
- Les valeurs d'affaiblissement acoustique d'une paroi en béton de chanvre dépendront du type de la finition appliquée sur la surface.

En moyenne, une paroi de 30 cm, avec revêtement intérieur/extérieur, pourra présenter un affaiblissement > 50 dB (se rapporter aux fabricants pour connaître les informations relatives à leur produit).

Les valeurs d'affaiblissement acoustique d'une paroi en béton de chanvre dépendront du type de la finition appliquée sur la surface.

Les bétons et mortiers de chanvre présentent donc des performances acoustiques qui correspondent à la réglementation en vigueur. De plus, leur coefficient d'adsorption α est intéressant, et permet de réguler l'ambiance acoustique des locaux.

Par exemple, des enduits chaux/chanvre brossés (dans le but de faire ressortir la porosité de la chènevotte) ou des surfaces intérieures en béton de chanvre brut, sont alors intéressantes à étudier selon le projet.



CONCLUSION

Le développement de la filière construction en chanvre est passé par une première étape de normalisation avec la rédaction des premières règles professionnelles en 2007 puis des secondes en 2012. Les règles professionnelles permettent aux professionnels du bâtiment d'être assurés. Néanmoins, le travail de normalisation et de lobbying n'est pas fini. Construire en Chanvre continue de lancer des programmes de recherche et d'essais techniques visant à caractériser les performances des bétons et mortiers de chanvre. La caractérisation est en effet indispensable au développement d'un matériau de construction. De nouvelles règles professionnelles sont en cours de rédaction sur l'année 2018.

La construction en chanvre repose sur des savoir-faire portés par des hommes convaincus qu'il faille réduire l'impact de l'acte de construire sur notre environnement, tout en améliorant le confort de nos bâtiments. Chaque jour, ces femmes et hommes sont de plus en plus nombreux : agriculteurs, industriels, entrepreneurs, architectes, applicateurs, maîtres d'ouvrage, etc.

L'utilisation de béton de chanvre ainsi que ses connexes biosourcés connaît un développement de plus en plus important sur le marché de la construction. Cette croissance devient nécessaire car elle répond de manière cohérente à l'épuisement des ressources fossiles.

Cet ouvrage est destiné aux prescripteurs, architectes, maîtres d'œuvre, ingénieurs, bureaux de contrôle et à toutes personnes souhaitant approfondir ses connaissances sur le sujet de la construction en béton et mortier de chanvre.

Il recense des connaissances issues d'échanges avec l'ensemble des membres de l'association Construire en Chanvre ainsi que de l'analyse des thèses de laboratoires travaillant depuis plusieurs décennies sur le comportement thermique, mécanique, hygrométrique et environnemental des bétons et mortiers de chanvre.

« L'architecture durable existe au travers de l'utilisation de matériaux renouvelables et issus de filières vertueuses à la fois pour l'homme et l'environnement. »



NOTES

A series of horizontal dotted lines for writing notes.

NOTES

A series of horizontal dotted lines for writing notes.



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



LES REDACTEURS

Quentin Pichon

Après des études d'ingénierie du bâtiment et d'architecture, Quentin Pichon multiplie les expériences dans le domaine de la construction biosourcée et devient chargé de mission pour l'association Construire en Chanvre.

Son implication le mène à la rédaction d'ouvrages et au pilotage de la commission normalisation des Règles Professionnelles. En parallèle, il se lance dans la maîtrise d'œuvre et s'associe pour créer l'agence d'architecture CANia à Nantes, qui agit pour la mise en œuvre de solutions constructives innovantes et biosourcées. Son parcours, ses expériences et les rencontres qu'il a pu faire l'ont amené à la rédaction de ce guide.

Jean-Marc Naumovic

Architecte DPLG et passionné d'éco-construction, Jean-Marc Naumovic est depuis le début de sa carrière convaincu de l'importance des matériaux biosourcés dans l'acte de construire.

Son parcours passe par un rôle d'élu à l'urbanisme durant quatorze ans. Membre fondateur de l'association Construire en Chanvre en 1998, il en est aujourd'hui le président depuis trois ans et participe au développement de la filière béton de chanvre.

Militant contre les « bâtiments toxiques » dans les années 90, ses convictions l'ont conduit à partager ses expériences au travers de cet ouvrage et des actions qu'il entreprend avec Construire en Chanvre.

