



École d'ingénieurs  
de l'Ecologie, de l'Energie,  
du Développement Durable  
et de la Mer

École Nationale  
des Travaux Publics  
de l'État

rue Maurice Audin  
69518 Vaulx-en-Velin Cedex

téléphone :  
+33 (0)4 72 04 70 70

télécopie :  
+33 (0)4 72 04 62 54

<http://www.entpe.fr>

# MATERIAUX BETON : DURABILITE, INNOVATION, RECYCLAGE

Fiche de lecture synthétique

## Influence du processus de prise et de la formulation sur le séchage du béton de chanvre

BARON Nils  
CLAUDY Florent

*Promotion 59*

*Année 2014*

## 1. Introduction

Le béton de chanvre est un matériau souvent utilisé dans les constructions en bois et offrant une très bonne isolation thermique dans de nombreuses habitations en France.

Avec une proportion appropriée de chanvre et de liant (souvent de la chaux hydraulique ou liant pouzzolanique), le béton de chanvre peut être utilisé de différentes manières dans la construction : murs, isolation des toitures et du sol.

Le présent document traite du comportement hydrique que présente le béton de chanvre et notamment du développement d'une méthode expérimentale afin d'étudier le séchage de différents échantillons de béton de chanvre en fonction de la composition, de la méthode de prise ainsi que des conditions de séchage.

## 2. Méthodologie et protocole expérimental

Cette étude étudie trois méthodes différentes de prise du béton que sont le moulage de blocs préfabriqués (*méthode A*), le mélange et compactage mécanique (*méthode B*), la pulvérisation (*méthode C*).

Quel que soit la formulation ou le type de fabrication, chaque échantillon est réalisé à l'intérieur de moule de dimensions identiques (correspondant à la moitié de l'épaisseur d'un mur usuel en béton de chanvre). Les blocs ont ensuite été isolés entre deux et cinq jours, période à partir de laquelle leur poids ne varie plus significativement.

Le but de l'expérience est de mesurer l'évolution de la température, de l'humidité relative ainsi que le taux d'humidité moyen en fonction du temps des différents échantillons de béton de chanvre.

Les blocs ont d'abord été placés dans une salle où chaque paramètre a été mesuré par des capteurs. Ces échantillons ont ensuite été séchés sous l'effet d'un flux d'air à vitesse variable et dont le taux d'humidité et la température sont mesurés. Au cours de cette expérience, on a pu mesurer la chaleur ainsi que le transfert thermique entre ce flux d'air et le béton étudié. Seule la surface supérieure des blocs est en contact avec le flux d'air.

Les paramètres suivants ont alors pu être mesurés en fonction du temps : la masse du bloc, la température moyenne et le taux d'humidité relative du bloc, la température sur la surface du bloc.

L'expérience prend fin lorsque la masse de l'échantillon ne varie plus.

## 3. Analyse des données expérimentales

L'eau joue des rôles différents au cours de la prise du béton de chanvre.

Tout d'abord, l'eau peut être absorbée par le chanvre du béton lors du mixage. L'eau permet également d'assurer la réaction d'hydratation afin de former de la chaux hydratée et des silicates de calcium hydratés.

Enfin, l'eau peut également migrer au centre de la surface du béton puis s'évaporer dans l'air.

Peu après la fabrication, le béton de chanvre est isolé de conditions thermiques pouvant permettre l'échange d'eau entre le béton et l'environnement. L'eau peut encore être absorbée par le chanvre mais est probablement majoritairement consommée lors de la réaction d'hydratation.

Après cette période, le béton est stocké à l'air ambiant. La réaction d'hydratation ainsi que les transferts d'eau se produisent alors simultanément. Au départ, l'eau libre se déplace jusqu'à la surface du béton pour ensuite s'évaporer. Cette opération est généralement liée au séchage et s'accompagne d'une perte de masse au travers de la surface en contact avec l'air ambiant. Cette variation de la masse est principalement liée à la perte d'eau à l'intérieur du matériau.

Deux relations peuvent être déduites des mesures de la masse des échantillons : la variation de la quantité d'eau en fonction du temps et la perte de masse par unité de surface séchée en fonction du temps.

La deuxième loi de Fick  $\frac{dX}{dt} = Dw\nabla^2 X$  permet d'interpréter la diffusion d'eau sous forme liquide ou sous forme vapeur jusqu'à la surface.

X étant le taux d'humidité, t le temps et Dw le coefficient de diffusion d'humidité effective dans tout le matériau.

La diffusion d'humidité représente ici les gradients d'humidité créés par des mécanismes de transfert tels que la capillarité, la diffusion de la vapeur dans l'air, etc.

Les solutions de cette équation proposées par Crank permettent de vérifier que la majeure partie de la diffusion s'effectue au niveau des surfaces planes de l'échantillon tandis que la diffusion sur les bords est négligeable.

Après simplification et linéarisation, et pour un temps long de diffusion, la solution retenue est la suivante :

$$Xred = \frac{8}{\pi^2} * \exp\left[-\frac{\pi^2 Dw}{4L^2} t\right]$$

où Xred est le rapport des taux d'humidité :  $Xred = \frac{\bar{X} - Xeq}{Xo - Xeq}$ , avec X le taux d'humidité, Xeq le taux d'humidité à l'équilibre et Xo le taux d'humidité initial.

Même si la seconde loi de Fick néglige les effets de la gravité, de la température et de la pression sur le transfert de masse, tout comme les réactions d'hydratation, les solutions de l'équation apportent tout de même une valeur approchée du coefficient Dw.

#### 4. Résultats et discussion

L'expérience a duré au total quatre mois et l'acquisition des données a été interrompue uniquement trois fois pour cause de coupure de courant.

- Séchage d'un bloc préfabriqué

La température de l'air a été stabilisée à 22 °C tout au long de l'expérience tandis que l'humidité relative oscille entre 30% et 60% autour d'une valeur moyenne de 45%.

Après que le séchage ait commencé, le taux d'humidité moyen commence à diminuer en continu. La perte d'eau est plus accentuée les vingt-cinq premiers jours, le taux de séchage augmentant de 40 à 120 grammes d'eau par heure par unité de surface. Ceci correspond à un fort déplacement de l'eau libre du matériau pour lequel le taux d'évaporation de l'eau est inférieur au taux de migration de l'eau dans le matériau.

La différence de température dans le matériau diminue et peut être due à la conduction de chaleur du fond vers la surface de l'échantillon et non à l'évaporation tant que le matériau est saturé en humidité.

Alors que le séchage continu (après 35 jours), le taux d'humidité moyen évolue lentement et le taux de séchage atteint une valeur plus basse que 20 gramme d'eau par heure par unité de surface. L'évaporation est progressivement achevée à l'intérieur du béton et l'humidité est transférée par diffusion à la surface. De plus, la température diminue au centre de l'échantillon entre les jours 40 et 65 indiquant que l'évaporation atteint cette région du matériau. Ceci est confirmé par le fait que l'humidité relative du matériau commence à diminuer à partir du jour 60.

A partir de là, la température augmente encore dans le matériau et l'humidité relative diminue progressivement jusqu'à ce que le séchage soit achevé.

En considérant la variation de masse, cette phase de séchage semble se terminer entre les jours 80 et 100 ; l'humidité relative n'étant cependant pas encore équilibré avec l'environnement extérieur

(seulement à partir du jour 110 où l'humidité relative atteint 40%, proche de celle de l'air). La température est quand à elle stabilisé dans le matériau.

A la fin de l'expérience, la masse volumique du béton étudié est d'environ  $420 \text{ kg/m}^3$ .

Au cours de l'expérience, deux blocs de béton ont été séchés de deux manières différentes : par convection naturelle (induit par le gradient thermique) et par convection forcée. Malgré le fait que les mêmes composants aient été utilisés lors de la fabrication, on note une différence entre les densités initiales des deux blocs, écart classique des fabrications industrielles.

Cependant, jusqu'au jour 50, la perte de masse est bien plus rapide pour un séchage forcé que pour la convection naturelle. A partir du jour 50, aucune différence n'est constatée entre les deux modes de séchage. Le temps de séchage nécessaire pour pouvoir atteindre une masse volumique finale de  $420 \text{ kg/m}^3$  est de 15 jours de plus pour une convection naturelle que pour une convection forcée.

En plus de l'échantillon de référence, deux autres blocs ont été fabriqués selon deux formulations spécifiques (de type sol) et ont été séchés selon une convection naturelle. Les deux bétons contiennent moins de chanvre que celui de référence et donc plus de liant.

On remarque tout d'abord que la masse volumique initiale est plus importante pour le béton qui présente le plus de liant. Au cours de l'expérience, l'évolution de la masse volumique du béton varie de manière identique pour les trois échantillons. La perte d'eau ne semble donc pas dépendre de la formulation de chaque béton de chanvre.

La masse volumique des bétons testés varie finalement entre  $420$  et  $580 \text{ kg/m}^3$ , celle-ci augmentant lorsque la quantité de liant dans chacune des formulations augmente également.

- Séchage de blocs mixés et compressés

Les conditions initiales en température et en humidité relative sont identiques à l'expérience précédente. Deux modes de séchage sont une nouvelle fois utilisés : convection forcée et naturelle.

Tout comme pour les blocs préfabriqués, la teneur en eau des bétons mixés et compressés mécaniquement diminue indépendamment du mode de séchage. La masse de l'échantillon se stabilise à partir du jour 70 (temps total de séchage), ce qui est beaucoup plus rapide que pour les blocs préfabriqués.

Cependant, même si l'échantillon est séché, le taux d'humidité relative commence à diminuer seulement à partir du jour 125 indiquant ainsi que l'évaporation se déplace lentement au sein du matériau (conséquence des conditions bien plus humides lors de la prise de ce béton comparé aux bétons préfabriqués).

A la fin de l'expérience, quel que soit le mode de séchage, la masse volumique atteint une valeur finale d'environ  $480 \text{ kg/m}^3$  après 140 jours.

- Séchage de blocs fabriqués par pulvérisation

Deux modes de fabrication différents ont été étudiés, le premier mode consiste à ajouter un mélange de chaux séché et de chanvre à l'aide d'un tuyau auquel on y ajoute de l'eau par pulvérisation en sortie (mode 1). Le second mode seul le chanvre est amené par un tuyau en sortie duquel une pâte liante (mélange d'eau et de chaux) est pulvérisée (mode 2).

Contrairement aux bétons préfabriqués ou aux bétons compressés, les blocs fabriqués par pulvérisation présente une plus basse teneur en eau abaissant ainsi la masse volumique à  $550 \text{ kg/m}^3$ . Pendant l'expérience de séchage, l'évolution de la teneur en eau et de la masse volumique est identique pour les modes 1 et 2.

Le séchage dure environ 30 jours pour le mode de fabrication 1, et 50 jours pour le mode 2. L'humidité relative commence à diminuer après le jour 40 dans le béton fabriqué selon le mode 2, tandis que cette diminution a lieu dès le jour 20 pour le mode 1.

On obtient une humidité relative dans chaque matériau proche de celle de l'air à partir de 80 jours. La masse volumique vaut alors  $480 \text{ kg/m}^3$  dans le cas du mode 1 et  $340 \text{ kg/m}^3$  pour le mode 2. Le mode de fabrication semble donc avoir un impact sur la masse volumique du béton. Le séchage est néanmoins beaucoup plus rapide que pour les modes de fabrications précédents ce qui constitue un avantage lors de la mise en œuvre de ces bétons.

## **5. Influence du mode de fabrication**

Les résultats des différentes expériences permettent d'affirmer que les bétons compactés et les bétons moulés présentent un comportement similaire concernant la masse volumique initiale, le taux d'humidité initial, et la différence de température entre la surface du matériau. Pendant l'expérience, le taux moyen d'humidité diminue lentement dans le matériau. L'humidité relative reste cependant à un niveau de saturation, le temps de séchage excède donc les 70 jours.

Les bétons fabriqués par pulvérisation présentent une teneur en eau plus faible que pour les autres types de bétons, la différence de température entre l'air ambiant et la surface du matériau est ainsi faible également.

L'humidité relative à l'intérieur du matériau diminue seulement après 40 jours et l'équilibre avec l'humidité ambiante est atteint en moins de 50 jours ce qui est beaucoup plus rapide que pour les autres modes de fabrications, conférant ainsi un avantage lors de la mise en œuvre.

Par ailleurs, la chaux ainsi que le type de chanvre utilisé n'ont pas de grande influence sur la masse volumique du matériau et du temps de séchage.

A l'inverse, le mode de fabrication a un plus grand impact sur le temps de séchage que le type de formulation mise en œuvre.

## **6. Conclusion**

Ce document confirme donc l'influence que possède le mode de fabrication des bétons de chanvre sur leurs propriétés initiales et finales ainsi que sur leur séchage. En revanche, la formulation de ces bétons n'a aucune conséquence sur le séchage et sur la diffusion de l'humidité.

On constate également que le béton est considéré sec lorsque sa masse ne varie plus, même si l'humidité relative dans le matériau ne s'est pas encore équilibrée avec l'environnement.