



Modélisation des besoins de chauffage et
de refroidissement d'un bâtiment en béton
de chanvre

Modélisation des besoins de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment en béton de chanvre

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1.0	10/03/2021	Version initiale
2.0	30/03/2021	Ajout de modélisations complémentaires

Affaire suivie par

Etienne GOURLAY – Agence de Strasbourg – Groupe Bâtiment-Construction-Immobilier
Tél. : +33(0)3 88 77 79 16 – Fax : +33(0)3 88 77 46 20
Courrier : etienne.gourlay@cerema.fr
Site de Strasbourg - 11, rue Jean Mentelin - BP 9 - 67035 Strasbourg Cedex 2

Références

n° d'affaire : 20-ET-0373

Devis du 22/10/2020

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Etienne GOURLAY	30/03/2021	
Avec la participation de			
Contrôlé par			
Validé par	Julien BORDERON	01/04/2021	

Résumé de l'étude :

Dans le cadre de cette étude, les besoins théoriques en chauffage et refroidissement d'un bâtiment R+1 fictif de 100 m² dont les parois sont isolées par 30 cm de béton de chanvre, sont évalués au moyen du logiciel WUFI® Plus. Il est établi que les transferts couplés de chaleur et d'humidité au sein des murs en béton de chanvre permettent de réduire jusqu'à 70% le besoin en chauffage du bâtiment sous certaines conditions et hypothèses. Des travaux complémentaires seront nécessaires pour affiner ce premier résultat, notamment sur la question des besoins en refroidissement et du renouvellement de l'air.

Par ailleurs, l'impact du revêtement intérieur des murs sur les besoins de chauffage et de refroidissement du bâtiment est évalué en comparant 3 cas : plaque Fermacell de 15 mm (BA15), enduit chaux-sable de 20 mm et enduit chaux-chanvre de 30 mm. Aucune différence notable n'a été constatée dans les simulations effectuées.

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	4
2	DESCRIPTION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ	5
2.1	Dalle	5
2.2	Murs	5
2.3	Fenêtres	5
2.4	Toiture	5
3	HYPOTHÈSES DE MODÉLISATION	6
3.1	Zone climatique	6
3.2	Occupation	6
3.3	Consignes de chauffage et de refroidissement	6
3.4	Ventilation mécanique	6
3.5	Conditions initiales	6
3.6	Absence de transferts d'humidité	6
4	BESOINS EN CHAUFFAGE ET REFROIDISSEMENT DÉTERMINÉS	8
4.1	Besoins en chauffage	8
4.2	Besoins en refroidissement	9
4.3	Simulations complémentaires	9
4.3.1	Changement de zone climatique	9
4.3.2	Surventilation du bâtiment	9
4.3.3	Dégradation de la performance thermique de la dalle et de la toiture	10
5	CONCLUSION	11

1 INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, les retours d'expérience montrent que les constructions neuves en béton de chanvre consomment jusqu'à 40% moins d'énergie que ce qu'indique la note de calcul réglementaire RT 2012 d'après certains organismes comme « construire en chanvre ». Cela pourrait en partie s'expliquer par le fait que les transferts couplés de chaleur et d'humidité, mis en évidence par de nombreux travaux de recherche, qui se produisent au sein des murs en béton de chanvre ne sont pas pris en compte dans les hypothèses de fonctionnement du moteur de calcul réglementaire et dans un certain nombre d'outils de simulation STD ou SED.

Dans le cadre de cette étude exploratoire, les besoins théoriques en chauffage et refroidissement d'un bâtiment R+1 fictif de 100 m² dont les parois sont isolées par 30 cm de béton de chanvre, sont évalués au moyen du logiciel WUFI® Plus. L'objectif principal est de quantifier, à l'échelle de ce bâtiment, les économies d'énergie (au niveau besoin) générées par les transferts couplés de chaleur et d'humidité au sein des murs en béton de chanvre. Par ailleurs, l'impact du revêtement intérieur des murs sur les besoins de chauffage et de refroidissement du bâtiment est évalué en comparant 3 cas : plaque Fermacell de 15 mm (BA15), enduit chaux-sable de 20 mm et enduit chaux-chanvre de 30 mm.

Les résultats exprimés dans ce rapport d'étude correspondent à des cas d'études définis avec des hypothèses propres qui sont présentées et ne doivent pas être sortis de leur contexte. Le Cerema ne saurait être tenu responsable si c'était le cas.

2 DESCRIPTION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ

Le bâtiment étudié est un bâtiment R+1 de base carrée (7,07 m de côté) dont la surface habitable est proche de 100 m². Il n'est entouré d'aucune végétation ou bâtiment susceptible de créer des ombres portées et ses murs sont exposés selon les quatre points cardinaux.

2.1 Dalle

La dalle béton de 15 cm d'épaisseur est isolée par 10 cm de polyuréthane. Sa résistance thermique est de 4,125 m².K/W.

2.2 Murs

Les murs sont constitués d'un parement extérieur (enduit chaux-sable de 20 mm), de 30 cm de béton de chanvre et d'un parement intérieur (plaque Fermacell de 15 mm, enduit chaux-sable de 20 mm ou enduit chaux-chanvre de 30 mm).

Les fiches matériaux du béton de chanvre et de l'enduit chaux-chanvre ne figurant pas dans la base de données WUFI, elles ont été implémentées pour les besoins de l'étude à partir des résultats des travaux de recherche menés sur ces matériaux. Leurs principales caractéristiques sont données dans le tableau suivant :

	Béton de chanvre		Enduit chaux-chanvre	
Masse volumique sèche [kg/m³]	400		850	
Porosité [%]	80		65	
Capacité thermique massique [J/kg.K]	1300		1890	
Conductivité thermique sèche [W/m.K]	0,1		0,256	
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau [-]	6,5		13,7	
Isotherme de sorption	HR [-]	Teneur en eau [kg/m ³]	HR [-]	Teneur en eau [kg/m ³]
	0	0	0	0
	0,5	10	0,5	21
	0,8	33	0,8	70
	0,96	60	0,96	127
	0,98	100	0,98	212
	0,99	117	0,99	248
	1	546	1	1160

Ces propriétés ne sauraient représenter l'ensemble des produits de leur catégorie, il s'agit de valeurs jugées réalistes.

2.3 Fenêtres

La surface vitrée est de 17%. Les fenêtres double vitrage considérées ont un U_w de 1,1 W/m².K.

2.4 Toiture

La toiture a une inclinaison de 40° et est isolée par 30 cm de laine de chanvre. Sa résistance thermique est de 8,168 m².K/W.

3 HYPOTHÈSES DE MODÉLISATION

Dans le cadre de cette étude, différentes hypothèses ont été effectuées pour pouvoir modéliser les besoins en chauffage et en refroidissement du bâtiment en béton de chanvre.

3.1 Zone climatique

On suppose que le bâtiment est implanté à Nancy (zone climatique H1b). Le fichier climatique est issu de meteofrance et est celui implémenté dans la base Wufi.

3.2 Occupation

Le bâtiment est occupé par une famille constituée de 2 adultes et de 2 enfants ayant entre 3 et 6 ans. On suppose que le bâtiment est inoccupé entre 8h et 18h en semaine et que les occupants ont une activité plus intense dans cette tranche horaire le week-end.

3.3 Consignes de chauffage et de refroidissement

On impose une température minimale de 18°C entre 8h et 17h en semaine et de 20°C le reste du temps.

La température maximale exigée est de 28°C entre 8h et 17h en semaine et de 26°C le reste du temps.

3.4 Ventilation mécanique

La ventilation mécanique est assurée par une VMC hygroréglable basse consommation.

3.5 Conditions initiales

Au début de chaque simulation, la température de tous les matériaux est supposée égale à 20°C tandis que leur humidité relative est de 80%. A l'intérieur du bâtiment, la température est également de 20°C et l'humidité relative est de 50%.

3.6 Absence de transferts d'humidité

Pour mettre en évidence les économies d'énergie générées par les transferts couplés de chaleur et d'humidité au sein des murs en béton de chanvre et, dans une moindre mesure, des enduits chaux-chanvre, des matériaux fictifs ayant les propriétés physiques et thermiques du béton de chanvre et de l'enduit chaux-chanvre et les propriétés hydriques d'un isolant fibreux non hygroscopique ont été considérés. Leurs principales caractéristiques sont données dans le tableau suivant :

	Béton de chanvre « sans hygro »		Enduit chaux-chanvre « sans hygro »	
Masse volumique sèche [kg/m³]	400		850	
Porosité [%]	80		65	
Capacité thermique massique [J/kg.K]	1300		1890	
Conductivité thermique sèche [W/m.K]	0,1		0,256	
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau [-]	6,5		13,7	
Isotherme de sorption	HR [-]	Teneur en eau [kg/m ³]	HR [-]	Teneur en eau [kg/m ³]
	0	0	0	0
	0,5	0	0,5	0
	1	0	1	0

4 BESOINS EN CHAUFFAGE ET REFROIDISSEMENT DÉTERMINÉS

Dans ce paragraphe, les résultats des simulations réalisées sont présentés et discutés.

4.1 Besoins en chauffage

Afin d'évaluer la sensibilité aux conditions initiales des matériaux, les simulations ont été réalisées sur des durées de 1 an, 5 ans, 10 ans et 30 ans. Les besoins en chauffage obtenus sont présentés dans le tableau suivant, exprimés en kWh :

Les résultats sur 1 an ne doivent pas être considérés comme réalistes car ils sont fortement dépendant des conditions initiales.

Parement intérieur mur	Matériau de remplissage mur	1 an	5 ans	10 ans	30 ans
Enduit chaux-chanvre	Béton de chanvre	1581,9	5303,6	9690,3	26952
Enduit chaux-chanvre « sans hygro »	Béton de chanvre « sans hygro »	4598,7	15896,2	30337,8	87895,1
Enduit chaux-sable	Béton de chanvre	1570,3	5279,1	9664,9	26937,5
Enduit chaux-sable	Béton de chanvre « sans hygro »	4626	16598,7	31243,5	89593,7
Fermacell BA15	Béton de chanvre	1579,5	5278,5	9654	26874
Fermacell BA15	Béton de chanvre « sans hygro »	4608,9	16521,5	31086,1	89115,8

On observe tout d'abord que pour chaque configuration simulée, le besoin en chauffage annuel diminue au cours du temps : dans le premier exemple, il passe de 15,8 kWh/m² la première année à 9 kWh/m²/an en moyenne sur 30 ans. Cela est vraisemblablement dû au choix des conditions initiales des matériaux : leur teneur en eau diminue au cours du temps pour se stabiliser ensuite. Par conséquent, les résistances thermiques des parois sont plus faibles les premières années et le besoin en chauffage est alors plus important.

Ensuite, on constate que la nature du parement intérieur des murs n'a que très peu d'influence sur la consommation de chauffage.

Par ailleurs, on remarque que les besoins en chauffage du bâtiment sont très faibles, inférieurs à 30 kWh/m²/an en moyenne sur 30 ans dans le cas le plus défavorable. Cela s'explique par la forte isolation du bâtiment avec notamment une résistance thermique de 8,168 m².K/W en toiture et par l'absence de prise en compte de potentiels défauts de mise en œuvre au sein du logiciel WUFI® Plus comme des infiltrations d'air.

Pour finir, les simulations réalisées indiquent que les transferts couplés de chaleur et d'humidité au sein des murs en béton de chanvre permettent de réduire jusqu'à 70% le besoin en chauffage du bâtiment. Ce résultat doit toutefois être considéré avec prudence dans la mesure où, comme expliqué au paragraphe précédent, les consommations de référence sont très faibles et que, de surcroît, une telle économie n'a jamais pu être observée *in situ*. En outre, en remplaçant dans la dernière simulation (cas du parement intérieur en Fermacell) le béton de chanvre par une laine de roche de même épaisseur (résistance thermique de 7,5 m².K/W), on obtient une consommation du bâtiment sur 30 ans de 49733,9 kWh soit quasiment deux fois plus que dans le cas du béton de chanvre, ce qui va à l'encontre des nombreuses données empiriques disponibles à l'heure actuelle.

Différentes hypothèses peuvent expliquer ce résultat. En premier lieu, le béton de chanvre est connu pour être un excellent régulateur hydrique : les débits de ventilation au niveau de la VMC hygro-réglable seraient donc nettement moins importants et les pertes de chaleur par renouvellement d'air (qui représentent 20 à 25% des déperditions dans un bâtiment) seraient donc également moindres. Par ailleurs, pour un parement intérieur donné, le temps de calcul augmente d'environ 40 à 50% dans le cas du béton de chanvre : cela est assez logique étant donné que les équations de transferts de chaleur et d'humidité sont couplées. Toutefois, l'augmentation du nombre d'itérations à chaque pas de temps de calcul augmente le risque de propagation d'erreurs et donc de dérive du modèle : pour s'en affranchir, il faudrait travailler sur un bâtiment parfaitement caractérisé et s'assurer à chaque instant que le profil de température et d'humidité relative dans le béton de chanvre correspond à celui effectivement mesuré *in situ*.

4.2 Besoins en refroidissement

Lors des différentes simulations effectuées, le besoin en refroidissement était systématiquement nul. En effet, le choix de l'implantation du bâtiment à Nancy (zone climatique H1b) fait que les périodes caniculaires sont limitées à la fois dans le temps et en intensité. Toutefois, il est assez surprenant que la température intérieure ne dépasse jamais les 26°C : des simulations complémentaires seront donc menées sur ce bâtiment dans d'autres zones climatiques pour vérifier le fonctionnement du modèle.

4.3 Simulations complémentaires

Les résultats obtenus lors de la première série de simulations ayant suscité un certain nombre d'interrogations, nous avons souhaité faire varier un certain nombre de paramètres : lieu d'implantation du bâtiment, taux de renouvellement d'air, résistance thermique des composants pour ce même cas d'étude.

4.3.1 Changement de zone climatique

La base de données climat du logiciel WUFI® Plus contient deux sites localisés en France : Nancy et Grenoble. Nous avons donc souhaité répéter les simulations précédentes sur une durée de 10 ans en considérant cette fois-ci la zone climatique de Grenoble (H1c). Les besoins en chauffage et en refroidissement obtenus sont présentés dans le tableau suivant, exprimés en kWh :

Parement intérieur mur	Matériau de remplissage mur	Chauffage	Refroidissement
Enduit chaux-chanvre	Béton de chanvre	8245,4	1003,8
Enduit chaux-chanvre « sans hygro »	Béton de chanvre « sans hygro »	27138,3	258,1
Enduit chaux-sable	Béton de chanvre	8185,4	975,5
Enduit chaux-sable	Béton de chanvre « sans hygro »	30418,9	197,8
Fermacell BA15	Béton de chanvre	8289,7	995,3
Fermacell BA15	Béton de chanvre « sans hygro »	30298,6	189,9

De nouveau, on constate une réduction de 70% du besoin en chauffage du bâtiment grâce aux transferts couplés de chaleur et d'humidité dans les murs de béton de chanvre. Ces besoins sont d'ailleurs assez proches de ceux obtenus lors de la première série de simulations.

La principale différence observée réside dans les besoins en refroidissement qui, cette fois-ci, ne sont pas nuls. Ces besoins sont 4 à 5 fois plus faibles en l'absence de transferts hygrothermiques dans le mur. Ce résultat est très surprenant dans la mesure où les changements d'état de l'eau (vaporisation) qui se produisent au sein du béton de chanvre lorsque la température extérieure augmente sont des phénomènes endothermiques et devraient donc contribuer à rafraîchir le bâtiment, ce qui devrait impliquer un besoin en refroidissement moindre.

En conclusion, il est important de rappeler que les besoins en chauffage (30 kWh/m²/an en moyenne dans le cas le plus défavorable) et en refroidissement (1 kWh/m²/an dans le cas le plus défavorable) sont trop limités pour pouvoir généraliser les tendances observées ici. C'est la raison pour laquelle de nouvelles simulations ont été menées dans le cadre de cette étude.

4.3.2 Surventilation du bâtiment

Le béton de chanvre étant un excellent régulateur hydrique, on peut supposer que l'utilisation d'une VMC hygroréglable conduise à un renouvellement d'air plus faible au sein du bâtiment et donc à une moindre perte de calories par ce biais. Afin de s'affranchir de ce paramètre, nous avons imposé un renouvellement d'air constant de 1,5 vol/h dans toutes les simulations pendant 10 ans. Les besoins en chauffage et en refroidissement obtenus sont présentés dans le tableau suivant, exprimés en kWh :

Parement intérieur mur	Matériau de remplissage mur	Chauffage	Refroidissement
Enduit chaux-chanvre	Béton de chanvre	50293,4	0
Enduit chaux-chanvre « sans hygro »	Béton de chanvre « sans hygro »	70830,6	0
Enduit chaux-sable	Béton de chanvre	49821,6	0
Enduit chaux-sable	Béton de chanvre « sans hygro »	71318,1	0

Fermacell BA15	Béton de chanvre	49976,4	0
Fermacell BA15	Béton de chanvre « sans hygro »	71007,0	0

De nouveau, on observe que la nature du parement intérieur des murs n'a que très peu d'influence sur la consommation de chauffage et que les besoins en refroidissement restent nuls.

Par ailleurs, pour un parement intérieur donné, l'écart entre les deux simulations réalisées reste aux alentours de 20 kWh/m²/an sur 10 ans comme lors de la première série de simulations. Toutefois, l'économie de chauffage réalisée n'est cette fois plus que de 30% étant donné que la consommation globale du bâtiment a augmenté d'environ 40 kWh/m²/an. Cela signifie que le renouvellement d'air dans la première série de simulations, d'une part, était extrêmement faible malgré une bonne qualité d'air intérieure apparente et, d'autre part, ne semble pas avoir été impacté par la nature du matériau de remplissage du mur.

En résumé, il apparaît que les transferts couplés de chaleur et d'humidité au sein des murs en béton de chanvre permettent de réduire de 20 kWh/m²/an le besoin en chauffage du bâtiment étudié indépendamment du taux de renouvellement d'air imposé. Dans le cas présent (renouvellement d'air constant de 1,5 vol/h), on constate qu'en remplaçant dans la dernière simulation (cas du parement intérieur en Fermacell) le béton de chanvre par une laine de chanvre de 22 cm d'épaisseur (résistance thermique de 5,865 m².K/W), on obtient une consommation du bâtiment sur 10 ans de 49930,9 kWh soit quasiment la même que dans le cas du béton de chanvre, ce qui est assez cohérent au regard des données empiriques disponibles : le renouvellement d'air imposé dans cette série de simulations semble donc plus représentatif d'un fonctionnement réaliste

4.3.3 Dégradation de la performance thermique de la dalle et de la toiture

Pour terminer, le bâtiment étudié étant très performant thermiquement – avec notamment des besoins en chauffage inférieurs à 9 kWh/m²/an en moyenne sur 30 ans dans le cas d'un remplissage béton de chanvre – nous avons choisi de diviser par deux la résistance thermique de la dalle et de la toiture afin d'observer l'évolution de l'impact du béton de chanvre sur les consommations énergétiques. Les besoins en chauffage et en refroidissement pour des simulations sur 10 ans sont donnés dans le tableau suivant, exprimés en kWh :

Parement intérieur mur	Matériau de remplissage mur	Chauffage	Refroidissement
Enduit chaux-chanvre	Béton de chanvre	71912,7	0
Enduit chaux-chanvre « sans hygro »	Béton de chanvre « sans hygro »	85096,1	0
Enduit chaux-sable	Béton de chanvre	71248,0	0
Enduit chaux-sable	Béton de chanvre « sans hygro »	84523,9	0
Fermacell BA15	Béton de chanvre	71549,3	0
Fermacell BA15	Béton de chanvre « sans hygro »	85129,4	0

Assez naturellement, la dégradation de la performance thermique de la dalle et de la toiture entraîne une forte augmentation des besoins de chauffage au sein du bâtiment, supérieure à 62 kWh/m²/an dans le cas d'un remplissage béton de chanvre.

En outre, les transferts hygrothermiques dans le mur ne permettent plus qu'une économie d'énergie de l'ordre de 13 kWh/m²/an dans le cas présent. Cela s'explique par le fait que les pertes de calories se font davantage par la toiture et la dalle : l'influence relative du matériau de remplissage du mur (en l'occurrence, le béton de chanvre) est donc logiquement moindre.

5 CONCLUSION

Les simulations réalisées au moyen du logiciel WUFI® Plus sur un bâtiment R+1 fictif de 100 m² dont les parois sont isolées par 30 cm de béton de chanvre ont permis de mettre en évidence que les transferts couplés de chaleur et d'humidité dans les murs en béton de chanvre permettent de réduire jusqu'à 70% le besoin en chauffage dans le cas d'un bâtiment très performant thermiquement et avec des hypothèses les plus favorables. Il faut toutefois rester prudent vis-à-vis de ces résultats de simulations qui vont bien au-delà des économies de chauffage effectivement observées depuis une dizaine d'années sur ce type de bâtiment. Cela est vraisemblablement lié aux limites du modèle utilisé qui semble sous-estimer le renouvellement d'air dans le bâtiment et ne prend pas en compte les potentiels défauts de mise en œuvre.

Les simulations complémentaires menées dans la seconde partie de l'étude ont montré que les transferts couplés de chaleur et d'humidité au sein des murs en béton de chanvre permettent de réduire de 20 kWh/m²/an le besoin en chauffage du bâtiment lorsque celui-ci est bien isolé par ailleurs (dalle, toiture, etc.) : les 30 cm de béton de chanvre se comportent alors « énergétiquement » comme 22 cm de laine de chanvre (résistance thermique de 5,865 m².K/W). En revanche, si le bâtiment est moins bien isolé, l'influence relative du béton de chanvre en paroi diminue.

Pour conclure, le point important à retenir de cette étude exploratoire est que les transferts hygrothermiques au sein du béton de chanvre modifient sensiblement les besoins en chauffage du bâtiment dans lequel ce matériau est mis en œuvre. Cependant, bien que la physique des phénomènes mis en jeu à l'échelle du béton de chanvre soit aujourd'hui bien connue et maîtrisée, il apparaît que leur traduction en termes d'économies d'énergie engendrées constitue un verrou scientifique assez difficile à lever, notamment sur la question des besoins en refroidissement qui reste en suspens au terme de cette étude. Des travaux complémentaires au moyen du logiciel WUFI® Plus et d'un autre logiciel devront donc être menés dans les prochains mois pour croiser les résultats et élargir les hypothèses des cas d'études. Des relevés de type monitoring sur le terrain serait souhaitable pour disposer de données permettant de fiabiliser les simulations.



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

