

# Caractérisation d'une maçonnerie composée d'éléments en aggloméré de chanvre

P.-Y. Bütschi, C. Deschenaux, B. Miao, N. K. Srivastava

**Résumé :** Les briques testées, composées de liants minéraux et de chanvre industriel, ont été préfabriquées industriellement sur une chaîne de production de briques de ciment. Ces briques ont pour but d'être utilisées pour le maçonnerie de murs légers, porteurs et isolants. Les essais ont démontré que les caractéristiques d'une telle maçonnerie se trouvent proches des recommandations suisses au niveau de la résistance. L'isolation phonique est comparable à de nombreux systèmes traditionnels mais par contre l'isolation thermique n'est pas encore compétitive.

**Mots clés :** maçonnerie, briques, préfabrication, aggloméré léger, chanvre, caractéristiques mécaniques, caractéristiques physiques, développement durable.

**Abstract :** The tested masonry elements, made of an agglomeration of industrial hemp and inorganic binders, were prefabricated on a cement brick production with an objective to use them for light-weight load-bearing wall construction and for insulation purposes. The tests indicate that the load bearing characteristics of such masonry construction is close to the present Swiss recommendations. Furthermore, the sound insulation characteristics are comparable to the numerous other traditional systems, but it is still not competitive to other existing systems from the point of view of thermal insulation.

**Key words :** construction, brick, light weight, building materials, industrial hemp, mechanical properties, physical properties, sustainable development.

## Introduction

Les produits basés sur des ressources renouvelables ont gagné en intérêt de la part de l'industrie en partie à cause des législations gouvernementales et les restrictions liées l'utilisation de produits basés sur une énergie fossile (Kessler et Kohler 1996). La culture du chanvre industriel, redevenue légale dans certains pays, a déjà permis la commercialisation de nombreux produits. Il existe en effet de nombreuses variétés dérivées du Cannabis *Sativa L.* qui contiennent peu de substance psychotrope et ne sont de ce fait pas considérées comme stupéfiantes.

**P.-Y. Bütschi et C. Deschenaux.** Département de génie civil, Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg, Bd. de Pérolles 80, 1705 Fribourg, Suisse.

**B. Miao et N.K. Srivastava.** Département de génie civil, Université de Moncton, Moncton, NB E1A 3E9, Canada

La bonne rigidité spécifique de ces fibres (Mohanty et al. 2002) permet, par exemple, leur incorporation en tant que substitution aux fibres synthétiques dans des composites à matrice polymères (Herrmann et al. 1998). Les graines brutes conviennent pour le fourrage du bétail et une fois pressées fournissent une huile qui entre dans la composition de produits cosmétiques, alimentaires ou de vernis. Le bois de chanvre, résidu de l'extraction des fibres, est assez peu valorisé et est principalement utilisé brut en tant que litière pour chevaux. Ces copeaux, appelés chènevotte, peuvent être également valorisés lorsqu'ils entrent dans la composition d'un aggloméré ou de panneaux légers (Theis et Grohe 2002). Une première recherche scientifique sur un aggloméré constitué de chènevotte, de chaux aérienne, de plâtre et d'eau a établi que ce matériau à caractère écologique, malgré certaines faiblesses au stade artisanal, a de bonnes caractéristiques d'isolation thermique (Deschenaux et al. 1999<sup>1</sup>). Ce type d'aggloméré a également été utilisé au Royaume-Uni (Yates 2002), et à des fins de recherche, dans le cadre de la réalisation des murs extérieurs non porteurs de deux logements.

L'objectif de la présente recherche était de déterminer les principales caractéristiques d'une maçonnerie composée

<sup>1</sup> Rapport de projet inédit

de briques en aggloméré, réalisées de manière industrielle, et de les comparer avec celles de maçonneries plus traditionnelles. La composition de l'aggloméré a dû être préalablement améliorée car une mauvaise carbonation de la chaux provoquait un manque de cohésion à l'intérieur du matériau. La résistance en compression à atteindre était de 1,8 MPa pour être en accord avec les exigences minimales de la recommandation suisse sur la maçonnerie (SIA V 177:1995). Cette valeur sous-entendait une utilisation dans le domaine de la maison individuelle avec une largeur de paroi en accord avec la performance thermique de l'aggloméré artisanal qui est de 0,14 W/(m K). On suggère donc ici que la maçonnerie doive non seulement supporter les charges mais également assurer une grande part de l'isolation du bâtiment.

A titre de comparaison, de tels éléments de maçonnerie (porteurs et isolants) sont présents sur le marché européen et sont pour la plupart constitués de béton cellulaire autoclavé. Leur résistance en compression est de l'ordre de 3 MPa et leur isolation thermique est de l'ordre de 0,12 W/(mK).

Une première série d'essais a déjà démontré que l'aggloméré, sous sa nouvelle forme, est compatible avec une chaîne de production industrielle prévue pour la production de briques de ciment (Bütschi et al. 2003). C'est sur la base de ces essais que de nouvelles briques ont été fabriquées. Ces éléments ont ensuite servi à la détermination de leur masse volumique, leur retrait et leurs caractéristiques mécaniques. Des murets ont également été maçonnés pour déterminer leur résistance mécanique ainsi que leur isolation phonique et thermique.

## Matériaux et techniques expérimentales

### Matériaux et composition

Les rapports en masse des différents constituants sont indiqués dans le tableau 1. Cette composition provient des modifications apportées à la composition artisanale pour lui permettre une bonne compatibilité avec le processus désormais industriel.

**Tableau 1.** Rapports en masse des constituants.

| Composant      | Rapport |
|----------------|---------|
| Chènevotte     | 1,00    |
| Chaux aérienne | 1,00    |
| Ciment         | 1,67    |
| Ajout 1        | 0,19    |
| Ajout 2        | 0,28    |
| Eau            | 2,82    |

La chènevotte se présente sous la forme de petits copeaux de bois de chanvre d'une longueur de 5 à 15 mm et d'une épaisseur inférieure à 1 mm. La masse volumique de la chènevotte en vrac est d'approximativement 110 kg/m<sup>3</sup> alors que celle des copeaux est d'environ 340 kg/m<sup>3</sup> dans des conditions ambiantes de température et d'humidité.

La chaux utilisée est une chaux éteinte ayant une teneur en hydroxyde de calcium (Ca(OH)<sub>2</sub>) de 97,2%.

Le plâtre présent dans la composition artisanale a été remplacé par du ciment car la préfabrication des éléments nécessite une prise initiale suffisamment rapide pour que les briques soient manipulables rapidement. Le ciment satisfaisait aux exigences de la classe CEM I 52,5 N selon la norme SN EN 197-1. Ce choix a été dicté par la présence de ce matériau sur la chaîne de production ainsi que pour la finesse de sa mouture qui permet de dégager une chaleur bénéfique pour le phénomène de durcissement.

La nature des deux ajouts minéraux, permettant une meilleure carbonation de la chaux, ne peut être dévoilée pour des raisons de confidentialité envers les partenaires industriels.

L'eau de gâchage correspondait aux critères de la norme SIA 162:1993 sur les bétons.

### Réalisation des éléments

Les briques utiles à la réalisation de la maçonnerie ont été fabriquées sur une chaîne de production industrielle mise à disposition par un des partenaires du projet. Dans un souci de réalisme des résultats un moule spécifique a été utilisé pour permettre de produire des éléments ayant des dimensions (tableau 2) proches de celles que pourraient avoir des briques commercialisables. Les ingrédients ont tout d'abord été introduits dans le malaxeur, ensuite un court malaxage précédait l'adjonction de l'eau afin de mélanger les divers liants et ainsi permettre une bonne homogénéité de l'aggloméré. Le dosage en eau est un paramètre complexe à gérer du fait de l'importante capacité d'absorption de la chènevotte. De plus, l'aggloméré une fois acheminé jusqu'aux moules, les ayant remplis et ayant été compacté, doit avoir une consistance lui permettant de rester stable car les briques sont démoulées moins de trente secondes après leur compactage.

Les briques ainsi produites sont restées six jours dans la halle de production (15°C et 50% HR) avant d'être mis sur palettes grâce à un dispositif semi automatisé. Le lendemain, soit sept jours après leur production les briques ont été livrées au laboratoire (19°C et 60% HR). C'est avec ces mêmes briques que des murets ont ensuite été maçonnés.

### Description des essais et normes suivies

Des pesages quotidiens ainsi que des mesures par comparateur ont été effectuées durant 140 jours afin de suivre l'évolution de la masse volumique absolue et les variations dimensionnelles des briques. La masse volumique absolue sèche de l'aggloméré a, selon la norme EN 772-13:2000, été déterminée grâce à une étuve. La résistance des éléments de maçonnerie a été déterminée sur des demi-briques pour limiter l'influence du manque de parallélisme des faces chargées provenant de leur fabrication. La valeur de leur résistance en compression ( $f_{b,i}$ ), déterminée selon la norme prEN 772-1:1996, tient en outre compte d'un facteur de forme et d'un facteur concernant la cure des échantillons. Leur module d'élasticité (E) a été déterminé grâce aux courbes force-déformation générées lors des essais.

Pour effectuer les essais de compression selon la norme prEN 1052-1:1995 nous avons maçonné quatre murets ayant les proportions décrites dans le tableau 2. Le banc d'essai, muni d'une presse hydraulique à commande numérique, nous a permis de respecter les recommandations concernant la vitesse de chargement. Ainsi les essais ont été effectués en force contrôlée avec une vitesse de chargement de 460 N/s.

**Tableau 2.** Dimensions des murets.

|          | Proportions | Dimensions (mm) |
|----------|-------------|-----------------|
| Longueur | 1,5 brique  | ~ 750           |
| Largeur  | 1,0 brique  | ~ 310           |
| Hauteur  | 5,0 briques | ~ 1 000         |

La mesure des indices d'affaiblissement acoustiques ( $R'w$ ) a été déterminée pour trois types de configurations soit le mur brut, le mur crépi une face, et le mur crépi sur deux faces. Pour cela, un muret de 1,0 m par 2,0 m a été réalisé entre deux locaux prévus pour les tests acoustiques. Ces tests ainsi que leur évaluation ont été effectués selon les normes ISO 140/III et ISO 7117/1.

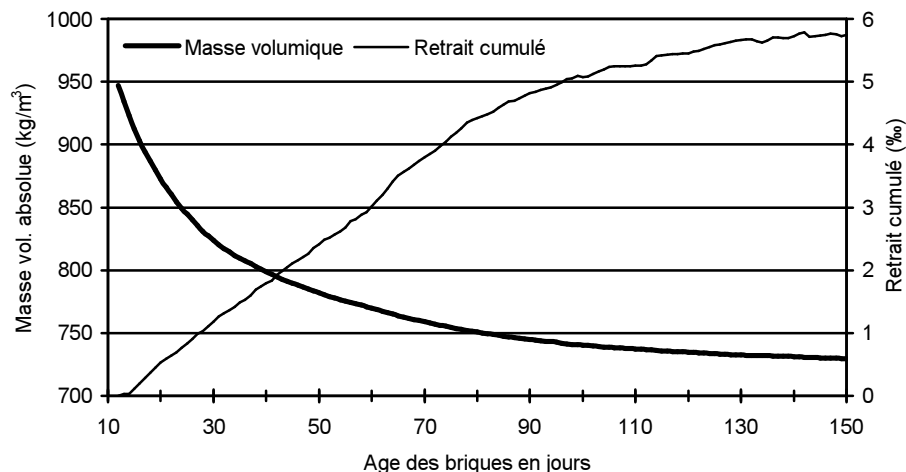
La détermination du coefficient de transmission thermique U s'est faite sur un muret, d'une largeur de 1,5 m et d'une hauteur de 1,2 m, déposé dans une boîte chaude gardée qui reproduit les conditions limites conventionnelles d'une éprouvette placée entre deux fluides, généralement de l'air, chacun d'eux à température uniforme.

### Résultats

#### Masses volumiques et retrait

Nous obtenons une masse volumique absolue sèche moyenne de  $627 \text{ kg/m}^3$ . La valeur de la masse volumique absolue moyenne est de  $730 \text{ kg/m}^3$ . Selon la norme, la masse volumique absolue est définie comme stabilisée lorsque la variation de masse de l'élément est inférieure à 0,2 % en 24 heures. Cette variation a été atteinte après une durée d'entreposage dans la halle d'essai de 35 jours mais comme on peut le constater dans la figure 1 la masse continue à évoluer bien au-delà de cette période. C'est la raison pour laquelle la valeur prise en compte est la moyenne des mesures prises au 150<sup>ème</sup> jour. Le retrait est de l'ordre de 6 ‰ et son évolution dans le temps semble liée à la quantité d'eau non-liée contenue dans l'aggloméré.

**Figure 1.** Evolution de la masse volumique absolue et du retrait des briques.



### Résistance en compression

La résistance des murets obtenue ( $f_i$ ) se trouve proche de notre valeur cible mais le module d'élasticité ( $E_i$ ) reste assez nettement au-dessous des recommandations (tableau 3). En effet, les exigences minimales de la norme suisse sur la maçonnerie sont de 1,8 MPa pour la résistance en compression et de 1 000 MPa pour le module d'élasticité. La figure 2 donne un aperçu de l'évolution des caractéristiques des briques dans le temps. En comparant ces valeurs à celles de la maçonnerie on constate que celles-ci sont sensiblement plus élevées. Cela provient d'une part des conditions de cure moins idéales dans le cas des murets, maçonnes dans la période où la plupart de la résistance se développe, et d'autre part de l'élancement des éléments comme pour tout type de maçonnerie. Le point principal à ressortir de cette figure concerne le gain en résistance au-delà de 28 jours, gain plus significatif que pour la plupart des éléments préfabriqués.

**Tableau 3.** Caractéristiques mécaniques des murets.

| Age des briques (jours) | Age du muret (jours) | $f_i$ (MPa) | $E_i$ (MPa) |
|-------------------------|----------------------|-------------|-------------|
| 28 jours                | 5 jours              | 1,85        | 385         |
| 42 jours                | 19 jours             | 2,18        | 233         |
| 58 jours                | 35 jours             | 2,04        | 219         |

### Isolation phonique

Les valeurs sans facteur de correction, obtenues pour les différents états de surface de la maçonnerie, se trouvent dans le tableau 4. La valeur de l'isolation acoustique, en prenant en compte un facteur de correction recouvrant la plupart des pièces des habitations privées, est suffisante contre les bruits extérieurs aériens élevés pour une sensibilité au bruit moyenne à élevée (SIA 181:1988).

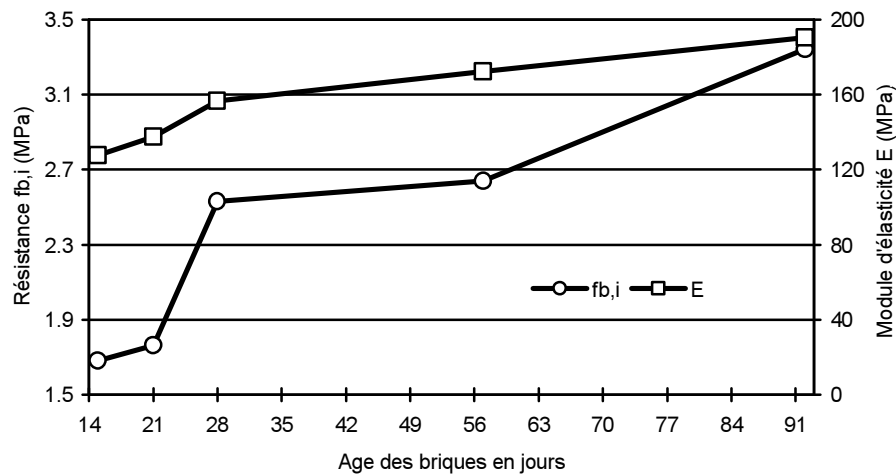
**Tableau 4.** Indices d'affaiblissement de la maçonnerie.

| Maçonnerie        | Indice d'affaiblissement apparent $R'w$ (dB) |
|-------------------|----------------------------------------------|
| Brute             | 43                                           |
| Crépie une face   | 45                                           |
| Crépie deux faces | 47                                           |

### Isolation thermique

La conductivité thermique  $\lambda$  est de 0,34 W/(m K) pour l'aggloméré ce qui correspond à un coefficient de transmission thermique  $U$  de 0,89 W/(m<sup>2</sup> K) pour la maçonnerie. Ces valeurs, à épaisseur identique, sont de 59 % inférieures à celles obtenues sur l'aggloméré réalisé de manière artisanale et sont donc désormais insuffisantes pour un matériau devant servir à ériger des murs extérieurs monolithes.

**Figure 2.** Evolution des caractéristiques mécaniques des plots.



La norme suisse concernant l'isolation thermique (SIA 180:1999), fixe la valeur maximale du coefficient de transmission thermique des murs extérieurs pour les locaux chauffés  $U_{\max}$  à  $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  alors qu'au Canada le Code modèle national pour les bâtiments recommande une conductance thermique globale maximale  $U$  de  $0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

## Discussion

La plupart des faiblesses constatées proviennent directement ou indirectement de la composition. En effet, le dosage élevé en liant, la faible répartition granulométrique et l'usage de chaux aérienne provoque un fort retrait et une évolution lente des résistances mécaniques. Bien qu'aucune fissure n'ait été constatée sur les briques, des problèmes constructifs pourraient apparaître si les briques étaient maçonnées avant que la majorité de leur retrait ait eu lieu. La faible rigidité de cette maçonnerie poserait également des problèmes constructifs car l'on pourrait s'attendre à des déplacements non négligeables même sous des charges normales d'utilisation. A ce point pénalisant nous pouvons opposer le comportement extrêmement ductile de cette maçonnerie. En effet, contrairement à d'autres types de matériaux comme la terre cuite, lorsque la charge maximale est atteinte aucune rupture brusque n'a lieu. Les murets continuent à se déformer tout en supportant la même charge, et ceci, même au-delà d'une déformation de 3%.

La capacité d'absorption d'eau de la chènevotte complique singulièrement la réalisation de l'aggloméré et influe sur l'évolution prolongée de sa masse volumique. Sa capacité de rétention suggère, de son côté, qu'il pourrait être intéressant, dans une phase ultérieure, de tester le comportement de l'aggloméré lors de cycles de gel et de dégel ainsi que son absorption par capillarité afin d'obtenir quelques indices sur la durabilité d'un tel produit.

Un mur composé de briques en aggloméré de chanvre assure une isolation acoustique contre les bruits aériens comparable à une maçonnerie en béton cellulaire autoclavé, ce qui est tout à fait satisfaisant. L'isolation thermique est par contre insuffisante pour une maçonnerie monolithique car dans ce cas il faudrait prévoir des murs de plus de 80 cm d'épaisseur pour satisfaire aux exigences ou recommandations des normes, ou compléter la maçonnerie par une couche isolante, ce qui ne serait plus intéressant au point de vue économique. Cette faible performance est causée par le manque de porosité de ce nouvel aggloméré dû, nous le suspectons, à un dosage en liants élevé ainsi qu'à l'intensité de la vibration et du compactage.

## Conclusions

L'aggloméré considéré dans ce travail permet la valorisation d'un produit provenant d'une ressource renouvelable et l'utilisation de liants et ajouts minéraux faibles en énergie grise. Sa composition en fait donc un matériau de construction s'accordant aux principes du développement durable ne se restreignant pas à la limitation de consommation d'énergie de l'objet bâti. Ses propriétés ne lui permettent pas encore d'être compétitif face aux systèmes de maçonnerie traditionnels mais cette étude nous a indiqué les voies actuellement suivies pour améliorer sa résistance tout en veillant au développement d'une porosité bénéfique aux caractéristiques thermiques. En effet, la composition de l'aggloméré avait jusqu'à présent suivi au plus près celle de l'aggloméré artisanal et il avait été fixé d'utiliser des liants soit déjà présents sur la chaîne de production soit largement disponibles sur le marché suisse.

## Remerciements

Ce projet, dénommé « projet CTI 4739.1, aggloméré de chanvre », a pu être réalisé grâce à des fonds provenant d'une part de la Commission pour la technologie et l'innovation ; et d'autre part des entreprises partenaires suivantes : Desmeules frères SA, Cewag, et Arbio SA. Les auteurs tiennent également à remercier M. Beffa, de l'école d'ingénieurs de Genève, pour sa disponibilité lors des essais acoustiques.

## Bibliographie

- Bütschi, P.-Y., Deschenaux, C., Miao, B., et Srivastava, N.K. 2003. Utilisation du chanvre pour la préfabrication d'éléments de construction. *Dans* Bâtir notre civilisation. Comptes rendus, 31<sup>e</sup> Congrès annuel de la société canadienne de génie civil, Moncton, 4 au 7 juin, Société canadienne de génie civil, Montréal (Qué.). pp. 336-1 – 336-6.
- Deschenaux, C., Macheret, C., Compagnon, R., et Corbat, J.-P. 1999. Aggloméré de chanvre I. Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg, Fribourg, rapport de projet n°. GC-1999-03.
- Herrmann, A.S., Nickel, J., et Riedel, U. 1998. Construction materials based on biologically renewable resources – from components to finished parts. *Polymer Degradation and Stability*, **59** : 251-261.
- Kessler, R.W., et Kohler, R. 1996. New strategies for exploiting flax and hemp. *Chemtech*, décembre 1996 : 34-42.

- Mohanty, A. K., Misra, M., et Drzal, L.T. 2002. Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World. *Journal of Polymers and the Environment*, **10**(1/2) : 19-26.
- SIA. 1988. Protection contre le bruit dans le bâtiment. Norme SIA 181:1988, Société suisse des ingénieurs et architectes, Zürich.
- SIA. 1995. Maçonnerie. Recommandation SIA V 177:1995, Société suisse des ingénieurs et architectes, Zürich.
- SIA. 1999. Isolation thermique et protection contre l'humidité dans les bâtiments. Norme SIA 180:1999, Société suisse des ingénieurs et architectes, Zürich.
- Theis, M., et Grohe, B. 2002. Biodegradable lightweight construction boards based on tannin/hexamine bonded hemp shaves. *Holz als Roh- und Werkstoff*, **60** : 291-296.
- Yates T. 2002. Final Report on the Construction of the Hemp Houses at Haverhill, Suffolk. Building Research Establishment, Watford, report 209-717 Rev1.