

# L'UTILISATION DE DÉCHETS AGRICOLES-CIMENT PORTLAND DANS LA FABRICATION DES ÉLÉMENTS CONSTRUCTIFS DES BÂTIMENTS RURAUX

## ABSTRACT

The lignocellulosic materials obtained from any biomass residue (rice-husk, bamboo and wood particles and sugar cane bagasse) embedded in Portland cement allows the built of a large range of composites. This kind of raw material is usually available everywhere, therefore decreasing transportation costs. As well, residue biomass-cement composites (BCC) have many advantages : their availability and the cheap cost of the residues, their low specific gravity, their resistance to biologic agent and fire, their good dimensional stability and the possibility to shape them easily. However, the main drawback of the BCC is related to a chemical incompatibility of some species with the cement. Therefore, the time of setting can become relatively long, or in other case, there is no setting at all. Among the technical process used to increase the behavior of residue biomass, four of them were chosen for this study: the influence of the cement type (CP II E 32 and CP V ARI- high initial resistance), the effect of the washing of the particles ( $H_2O-80\text{ }^{\circ}C-2$  hours), the addition of Calcium Chloride ( $CaCl_2$ ) and the mineralization with sodium silicate (water glass) ( $Na_2O.SiO_2$ ) and aluminum sulfate ( $Al_2(SO_4)_3$ ). Specimens had been built with a ratio of 1 :0.375 :0.750 (cement : residue biomass :water). For each treatment we have built three specimens ( diameter 50 mm, length 100 mm) and let them to set for 14 days. Then a compression test had been done. Six residues types have been choose for the experimentation : one softwood (*Pinus oocarpa*), three hardwoods(*Aspidosperma polyneuron*, *Myroxylon balsamum*, *Eucalyptus citriodora*) and two gramineae (*Bambusa tuldoides*, *Pennisetum purpureum*). The result has bring forward the positive influence of the effect of the washing of the particles with the CP II E 32 cement. For the group of treatment, we have come to the conclusion that the use of CP V ARI cement allows to obtain of a more efficient environment for the processing of the particles residue. The pre-mineralization seem to be a very interesting industrial process. The resistance of the composites is considerably increase. However, the economic aspect stays the major problem especially for the fabrication of rural buildings components.

**Keywords:** Composite, residues, Forest residues

## INTRODUCTION

Étant donné sa situation géographique particulière, le Brésil bénéficie d'une couverture végétale très importante et par conséquent, d'une grande disponibilité de résidus végétaux provenant du sciage des bois amazoniens ou exotiques ou encore des résidus de la récolte agricole. Dans l'industrie du bois, les pertes de matière première sous forme de résidus sont estimées à 10%; le problème est encore plus important dans le domaine agro-industriel. Les statistiques indiquent une production annuelle de deux millions de tonnes de balle de riz au Brésil et la presque totalité de ce résidu n'a pas encore trouvé d'utilisation comme matériau de construction. Compte tenu de la présence d'espèces de bambou de grande croissance et des coûts très importants de matériaux de construction conventionnels, l'utilisation des composites de résidus végétaux est une filière très importante à développer dans le domaine de la construction, particulièrement en milieu rural.

L'utilisation de la biomasse végétale dans le renforcement de matrice à base de ciment Portland présente un intérêt certain pour le secteur industriel. Au Brésil toutefois, la possibilité d'exploitation de cette matière première intéressante sous forme de matériaux de construction reste encore limitée à quelques laboratoires de recherche. Il y a un seul fabricant brésilien utilisant des résidus végétaux sous forme de laine de bois, dans le procédé de fabrication de panneaux de toiture.

Considérant la très grande disponibilité de la biomasse végétale sur l'ensemble du territoire brésilien, l'étude des caractéristiques particulières de chaque espèce fournira des renseignements essentiels à l'industrie qui, dans un proche avenir, aura besoin d'une nouvelle matière première peu coûteuse pour remplacer la fibre d'amiante. Parmi les candidates potentielles la biomasse végétale pourra, sans aucun doute, trouver une place importante dans la fabrication d'éléments constructifs.

Même si dans un premier temps, l'utilisation des ressources végétales disponibles et renouvelables pour renforcer la matrice semblait idéale, l'expérimentation a rencontré des échecs dans beaucoup de cas. En effet, les différentes biomasses végétales, si elles sont utilisées sous leur forme naturelle, ne présentent pas un bon comportement avec les liants inorganiques, et surtout, avec le ciment Portland. Dans certains cas, la prise et le durcissement de la pâte ou du mortier de ciment ont beaucoup de difficulté à se développer. Parfois, la présence de certains constituants de la biomasse végétale empêche totalement la réaction d'hydratation du ciment. Il s'agit d'un phénomène complexe dans lequel les différents constituants du ciment ( $C_2S$ ,  $C_3S$ ,  $C_3A$ ,  $C_4AF$  et le gypse) sont soumis à différents degrés, à l'action des sucres, tanins, phénols contenus dans la matière première végétale, à l'action de chlorures et carbonates contenus dans l'eau de gâchage et également, à l'action du gaz carbonique présent dans l'atmosphère à 0,03%.

Plusieurs techniques ont été utilisées pour évaluer la présence et la concentration des substances contenues dans la biomasse végétale. Bröker and Simatupang (1973) ont analysé par chromatographie en couche mince les constituants chimiques du bois. Ils ont conclu que les éléments perturbant la prise du ciment étaient les sucres et les acides lignosulphoniques. Simatupang (1986) a également analysé par chromatographie à échange d'ions, des pâtes de ciment mise en contact avec du bois. Dans le cas du hêtre, il a trouvé une quantité très importante d'oligosaccharides, tandis que dans le cas du bouleau, c'est le pic du glucose qui a prédominé. Fischer et al. (1974) avait établi antérieurement que les substances nuisibles au ciment sont les carbohydrates solubles obtenus lors de la diffusion des sucres contenus dans le bois qui se transforment en acides saccharides. Schwarz (1988) a trouvé des quantités importantes de sucres (1,0 à 1,3%) et d'amidons libres (7,5 à 10,2%) dans le bois de *H. brasiliensis*. Cependant, Tachi et al. (1988) ont considéré les substances phénoliques contenus dans le bois de *A. mangium* comme les responsables de la mauvaise prise du mélange bois-ciment.

Beraldo (1994), dans l'étude de la viabilité technique de la fabrication de composites de ciment et de biomasse végétale, a étudié les essences de sapin, de hêtre, de pin maritime, et une espèce de bambou (*Phyllostachys viridis*). À l'exception du bois de sapin, toutes les autres essences se sont avérées, dans l'état naturel, très inhibitrices à la prise d'un ciment français CPA 55. Cependant, l'analyse des solutions aqueuses des différentes particules par HPLC (chromatographie liquide) n'a pas donné les résultats escomptés. Dans les cas du bois d'hêtre et de pin maritime les sucres sont présents en très faible quantité. Toutefois, la solution de particules de bambou a présenté une importante concentration de sucre (saccharose, glucose et fructose), supérieure au niveau maximal de 0,5% préconisé par Simatupang (1986) pour la prise du ciment.

La compatibilité chimique entre les différentes biomasses végétales, naturelles ou soumises à un traitement physico-chimique et le ciment Portland, ordinaire ou modifié, est normalement évalué par l'obtention de la courbe d'hydratation (température en fonction du temps) du mélange placé dans un calorimètre. Une bonne courbe d'hydratation du mélange est une condition nécessaire mais non suffisante pour évaluer l'espèce végétale sous le point de vue de sa compatibilité avec le ciment. Toutefois, le rapport classique ciment : bois 1 : 0,075 proposé par Sandermann (1970), est très différent de 1 : 0,500 normalement utilisé dans la fabrication de panneaux (Moslemi and Pfister, 1987). Entre autre, la taille des particules joue un rôle important dans l'hydratation de la pâte de ciment (Badejo, 1988). Dans les essais de laboratoire la poudre de bois (au-dessous de 0,074 mm) est utilisée. En revanche, dans la fabrication de panneaux bois-ciment les dimensions des particules sont de taille plus importante et sont distribuées dans une large fourchette. Beaucoup d'alternatives ont été proposées pour rendre homogène et compatible, le comportement de différentes biomasses végétales vis-à-vis le ciment. Néanmoins, les réponses obtenues se sont avérées très variables selon l'espèce étudiée. Les résultats sont fort dépendants de la nature de la biomasse végétale (conifère ou feuillu), de l'anatomie de l'espèce (écorce, aubier, cœur), de l'effet du stockage (durée et conditions), de

l'efficacité du processus de lavage (pH, durée, température), de l'effet des adjuvants (nature, dosages), de la nature du ciment (alumineux, de hauts fourneaux), de la cure (à l'air libre, humide, dans un environnement riche en CO<sub>2</sub>) et, dans la plupart des cas, des effets combinés des différents traitements.

La majorité des traitements individuels ou combinés ont pour but d'établir la compatibilité chimique entre la biomasse végétale et le ciment. Toutefois, un deuxième inconvénient lié à la structure poreuse végétale demeure encore. L'absorption très importante d'eau provoque, par conséquent, une instabilité dimensionnelle du composite. Mougel (1992) et Beraldo (1994) ont proposé des opérations mixtes réalisées soit sur la biomasse végétale (lavage et pulvérisation de produit) ou soit sur la matrice (renforcement avec du sable). Les composites obtenues ont été exposés au cycle d'humidification et de séchage (33 °C et humidité 50%). Les variations dimensionnelles des éprouvettes entre les états extrêmes sont restées aux environs du mm/m.

Furuno et al. (1991), à leur tour, ont démontré les avantages d'un traitement de minéralisation des particules végétales. L'absorption d'eau par les particules a été fortement réduite. Dans la fabrication de panneaux bois-ciment un tel procédé est utilisé dans le but de minimiser les inconvénients dus à la présence de certains constituants du bois. L'enveloppement des particules par des produits issus de la réaction entre le méta-silicate de soude et du sulfate d'aluminium apporte également l'incombustibilité aux panneaux.

## MATÉRIAUX ET MÉTHODES

Compte tenu de l'influence notable de la nature du ciment dans les caractéristiques du composite, l'emploi de deux types de ciment brésilien a été adopté dans le présent travail, à savoir le ciment composé CPIIE32 (type **II**) et le ciment de prise rapide CPVARI (type **V**). L'effet de la nature de la biomasse végétale a été évalué par le choix de deux graminées (le bambou *Bambusa tuldooides*- noté **BT** et l'herbe *Pennisetum purpureum*- noté **PP**), d'un conifère (*Pinus oocarpa*- noté **PO**) et de trois feuillus (*Eucalyptus citriodora*- noté **EC**, *Aspidosperma polyneuron*- noté **AP** et *Myroxylon balsamum*- noté **MB**). Les agrégats végétaux ont été classés selon les essais brésiliens de granulométrie. Leurs modules de finesse (rapport de la somme des pourcentages retenus dans les tamis divisée par cent) se sont situés entre 4,23 (MB) et 4,78 (PO). Leur masse volumique en vrac a varié de 170 g/l (MB) à 230 g/l (BT).

La compatibilité chimique entre les particules végétales et les deux types de ciment (II et V) a été évaluée par des mesures de température d'hydratation des mélanges en fonction du temps. Des préparations formées de 200 grammes de ciment et de 15 grammes de poudre anhydre (de granulométrie inférieure à 0,074 mm) pour chaque espèce ont été mélangées à 90,5 ml d'eau distillée. La température du mélange, placé dans un calorimètre, a été suivie au moyen d'un système d'acquisition de données (Data Logger Novus) d'une sensibilité de 0,1°C.

Les différents traitements utilisés ont été classés comme naturel (noté **N**), lavé à l'eau chaude (80 °C - 2 heures - noté **L**), accéléré (3% de chlorure de calcium par rapport à la masse de ciment - noté **A**), minéralisé (double immersion en solution de silicate de soude à 5% et sulfate d'aluminium à 30% - noté **M**). Nous avons également analysé l'effet combiné des différents traitements, c'est-à-dire naturel plus accélérateur (noté - **NA**) et lavé plus minéralisé (noté - **LM**).

Trois éprouvettes ont été fabriquées pour les différents traitements selon le rapport massique ciment : biomasse végétale de 1 :0,375. L'eau de gâchage, adaptée selon l'ouvrabilité du mélange, est demeurée dans l'intervalle compris entre 0,69 et 0,75. Le ciment a d'abord été mélangé à la matière végétale et ensuite, l'eau de gâchage a été ajoutée. Le mélange a été placé en quatre couches dans des moules et a été tassé à l'aide d'une spatule. Après vingt-quatre heures les éprouvettes ont été démoulées. La cure a été réalisée à l'air libre pendant quatorze jours. Les tests d'écrasement ont ensuite été réalisés sur une machine à essai universel Versa Tester (Solo Test). Les résultats des essais ont été analysés à l'aide d'un logiciel statistique (Test de Tukey).

## RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Toutes les espèces végétales étudiées ont présentées une faible compatibilité chimique avec le ciment de type II. Le même phénomène a été observé avec l'utilisation du ciment de type V (prise rapide) pour certaines espèces, mais dans une moindre mesure. La figure 1 présente les courbes d'hydratation des pâtes pures des ciments de type II et V ainsi que celles des mélanges où a été ajoutée de la poudre de particules de bambou (naturelles ou lavées).

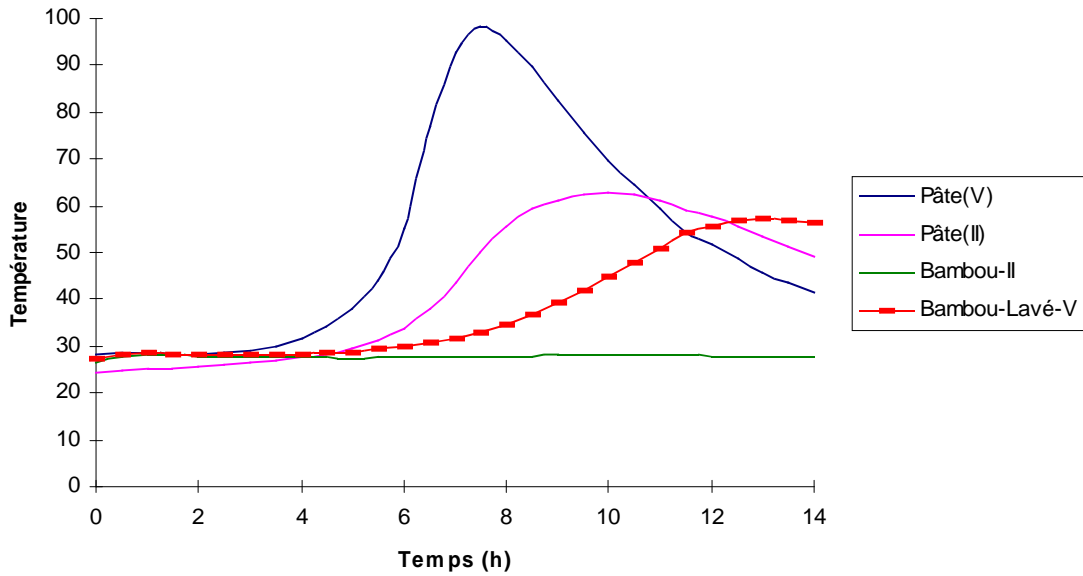


Figure 1 Courbes d'hydratation des pâtes pures de ciment et des pâtes de ciment additionnées de poudre de particules de bambou (naturels et lavées)

Le système utilisé n'étant pas parfaitement adiabatique ne permet pas d'évaluer l'effet de l'incompatibilité chimique à partir de la comparaison des températures. Toutefois, il est évident que la présence de la biomasse végétale naturelle provoque un changement brutal des coordonnées du pic de la courbe d'hydratation de la pâte de ciment. En effet, l'hypothèse d'inhibition de la prise du ciment a été confirmée par les résultats des essais d'écrasement (Tableau I).

Tableau 1 Contraintes de rupture (MPa) des différents composites

Espèce végétale	Type de ciment	Biomasse végétale		Biomasse végétale	
		Naturel	Nat+Mineralisé	Lavée	Lavée+Min.
<i>Eucalyptus citriodora</i>	II	0.8	4.4	1.7	4.4
	V	5.4	8.3	5.1	8.8
<i>Myroxylon balsamum</i>	II	0.7	2.7	0.5	8.9
	V	0.7	10.1	5.2	12.5
<i>Pinus oocarpa</i>	II	1.2	2.6	0.9	3.8
	V	2.7	7.3	3.8	7.1
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	II	0.9	1.5	1.3	3.8
	V	3.4	5.7	3.0	4.5
<i>Bambusa tuldoidea</i>	II	0.3	6.5	2.4	5.6
	V	3.6	10.6	5.0	8.4
<i>Penisetum purpureum</i>	II	0.3	1.2	1.2	1.0
	V	1.4	6.8	2.1	1.9

L'analyse statistique à un niveau de confiance de 5%, sur les données de résistance mécanique à l'écrasement et le test de Tukey pour les moyennes, ont mis en évidence les différentes interactions entre les facteurs lavage (naturel ou lavé), les types de ciment (II ou V) et les traitements (naturel, chlorure de calcium et minéralisation).

Aucune espèce analysée n'a présenté une bonne réaction avec le ciment de type II (prise normale). L'utilisation du ciment de type V (prise rapide) dans la fabrication de composites a cependant été plus efficace que celui de type II. Il est probable que la vitesse de prise du ciment de type V a été plus rapide que celle de la montée vers la surface des substances inhibitrices contenues dans les particules végétales.

Toutefois, l'utilisation du ciment de type V ne semble pas toujours suffisant pour contrecarrer les effets nuisibles de certains constituants nuisibles du bois de *M. balsamum* et dans une moindre mesure, de l'herbe de *P. purpureum*. Il est très difficile d'établir une réponse générale pour l'interaction biomasse végétale-ciment parce que la nature des constituants chimiques de chaque type de biomasse végétale particulière ainsi que leur concentration n'ont pas été évaluées dans ce travail.

L'effet du lavage des particules végétales est remarquable principalement lors du mélange avec le ciment de type V. La résistance des éprouvettes à l'écrasement est nettement améliorée, à l'exception de celle du bois de *E. citriodora* à l'état naturel, dont les résultats s'étaient déjà avérés supérieurs aux autres. Le lavage semble extraire partiellement les substances nuisibles à la prise du ciment. Toutefois, leur dosage est encore suffisamment important pour empêcher la prise du ciment de type II. Tous les composites présentent une résistance à l'écrasement inférieure à 2,0 MPa à l'exception du composite à base de particules de bambou qui atteint 2,4 MPa.

Dans le cas de l'emploi des particules naturels de graminées (*B. tuldoïdes* et *P. purpureum*) le chlorure de calcium n'a apporté aucune amélioration aux composites, les contraintes de rupture étant demeurées au-dessous de 0,5 MPa. En revanche, l'effet combiné de l'accélérateur et du lavage a permis d'atteindre de contraintes de rupture, respectivement, de l'ordre de 5,0 MPa et 2,1 MPa.

La minéralisation des particules végétales, surtout en combinaison avec du ciment type V a annulé l'effet inhibiteur de la biomasse végétale. Néanmoins, l'effet combiné de la minéralisation avec le lavage n'a pas amélioré la performance du composite en compression, à l'exception du composite de particules de *M. balsamum*. La réaction très rapide du ciment a probablement évaporé partiellement l'eau de gâchage. Une autre hypothèse à considérer est celle de la réaction probable des produits chimiques issus de la minéralisation avec les constituants de la biomasse végétale.

## CONCLUSIONS

Toutes les espèces végétales étudiées à leur état naturel ne sont pas souhaitables pour la fabrication des composites à partir du ciment brésilien de type II. L'espèce *E. citriodora* et dans une moindre mesure les espèces *B. tuldoïdes* et *P. oocarpa* se sont avérées compatibles avec le ciment brésilien de type V. Le traitement de lavage des particules végétales a permis d'extraire partiellement des composants chimiques nuisibles à la prise du ciment provoquant une amélioration nette de la résistance des composites à l'écrasement. Même si la minéralisation des particules végétales a permis d'atteindre les résultats les plus performants du composite en compression, il reste encore un problème économique à résoudre, le coût des produits chimiques purs utilisés n'étant pas très intéressants. Les résultats obtenus au laboratoire doivent être confirmés en utilisant de produits chimiques de qualité inférieure disponibles sur le marché.

## BIBLIOGRAPHIE

BADEJO S.O.O., 1988. Effect of flake geometry on properties of cement-bonded particleboards from mixed tropical hardwoods. *Wood Science and Technology*, 22, p. 357-370.

- BERALDO A.L., 1994. Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment à variations dimensionnelles limitées vis-à-vis des variations d'humidité. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy 1, Nancy, France, 222 p.
- BRÖKER F.W., SIMATUPANG M.H., 1973. Dünnschichtchromatographischer Nachweis zementerhärtungsstörender Stoffe. Zement-Kalk-Gips n° 5, p. 245-247.
- FISCHER V.F., WIENHAUS O., RYSSEL M., OLDBRECHT J., 1974. The water-soluble carbohydrates of wood and their influence on the production of lightweight wood-wool boards. Holztechnologie, 15(1), p. 12-19.
- MOSLEMI A. A., PFISTER S.C., 1987. The influence of cement-wood ratio and the cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. Wood and Fiber Science, 19(2), p. 165-175.
- MOUGEL E., 1992. Mise au point d'un composite bois-ciment dont les variations dimensionnelles vis-à-vis des variations d'humidité sont contrôllées. Thèse de Doctorat, Université de Nancy 1, ENSTIB, 160 p.
- SANDERMAN W., 1970. Technical processes for the production wood-wool/cement boards and their adaptation for the utilisation of agricultural wastes. University of hamburg, 32 p.
- SCHWARZ H.G., 1988. Cement-board in Malaysia. In: International Congress of fiber and particleboard bonded with inorganic binders, Vol 1, p. 91-92.
- SIMATUPANG M.H., 1986. Abbaureaktionen von Glucose, Cellobiose und Holz unter dem Einfluß von Portlandzementmörtel. Holzforschung, 40(3), p. 149-155.
- TACHI M., NAGADOMI W., TANGE J., YASUDA S., TERASHIMA N., 1988. Manufacture of wood-cement boards II. Cement-bonded particles boards from Malaysian fast-growing trees. Mokuzai Gakkaishi, Vol. 34, p. 761-764.