



**HAL**  
open science

**Etude du séchage de bétons lignocellulosiques à base de pulpes de betteraves issues de l'industrie sucrière.  
Impact du traitement des pulpes**

Léon-Brice Mboumba-Mamboundou, Pablo Montreal, Rose-Marie Dheilly,  
Michèle Queneudec

► **To cite this version:**

Léon-Brice Mboumba-Mamboundou, Pablo Montreal, Rose-Marie Dheilly, Michèle Queneudec. Etude du séchage de bétons lignocellulosiques à base de pulpes de betteraves issues de l'industrie sucrière. Impact du traitement des pulpes. Matériaux 2018, Nov 2018, Strasbourg, France. pp.8. hal-02005374

**HAL Id: hal-02005374**

**<https://enpc.hal.science/hal-02005374>**

Submitted on 4 Feb 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Etude du séchage de bétons lignocellulosiques à base de pulpes de betteraves issues de l'industrie sucrière. Impact du traitement des pulpes

Léon-Brice Mboumba-Mamboundou, Pablo Montreal, Rose-Marie Dheilly,  
Michèle Quéneudec\*

Unité de recherche EPROAD (EA 4669) UPJV– Equipe IMaP,  
7 rue du Moulin Neuf 80000 Amiens, France.

[\\*michele.tkint@u-picardie.fr](mailto:michele.tkint@u-picardie.fr)

**RESUME :** Le séchage est un problème majeur des bétons lignocellulosiques. L'objectif de ce travail est de comparer le séchage d'une dalle de béton à base de pulpes de betterave, traitées ou non, à celui d'une dalle identique en mortier normal. L'humidité relative a été déterminée à différentes profondeurs à l'aide d'une méthode électrophysique, mise au point au laboratoire, qui permet le suivi in-situ, en continu, des variations d'humidité relative à l'intérieur d'un matériau. Le séchage de la dalle en béton de pulpes est plus homogène que celui de la dalle en mortier normal mais beaucoup plus long. Lorsque les pulpes de betterave ont subi un traitement d'enrobage, par un lait de ciment, afin de diminuer la quantité d'eau nécessaire à la fabrication, la dalle de mortier ne montre plus de présence d'eau à l'état liquide dans le matériau après 2 jours et l'équilibre avec l'ambiance est atteint à partir de 4 à 5 jours. Ces bétons présentant une faible masse volumique et étant classés isolants ou isolants porteurs, on voit donc les potentialités de valorisation de ces coproduits de l'industrie sucrière.

**MOTS CLES** bétons lignocellulosiques, pulpe de betteraves, séchage, enrobage, humidité relative

**ABSTRACT:** Drying is a major challenge of lignocellulosic concretes. The objective of this work is to compare the drying of two concrete slabs. The first one was made with beet pulps, treated or not. And other one was made with normal mortar. The relative humidity was determined to various depths by means of a electrophysical method, This technology was developed in the laboratory. This in situ method allows to follow-up continuous change in relative humidity inside a material. The drying of the lignocellulosic concrete slab is more homogeneous than that of the normal mortar slab. When beet pulps have been coated by cement slurry, in order to decrease the quantity of manufacturing water, the lignocellulosic concrete slab shows no more presence of water in the liquid state in the material after 2 days. And over 4-5 days equilibrium with the atmosphere is reached. These lignocellulosic concrete slabs also have a low bulk density and have been classified insulating materials. Thus lignocellulosic concrete slab manufacturing is a potential upgrading of this sugar industry byproduct.

**KEYWORDS:** lignocellulosic concrete slab, beet pulp, drying, coating, relative humidity

## 1. INTRODUCTION

La France est le huitième producteur mondial de betteraves, premier producteur mondial de sucre de betterave et troisième consommateur de l'Union Européenne avec 43 kg par an par personne. La pulpe de betterave est aussi un coproduit de la production de bioéthanol, un biocarburant utilisé par les véhicules à essence [1]. Elle représente donc une source de matière première lignocellulosique qui pourrait permettre la fabrication de matériaux composites. Il paraît donc intéressant d'expérimenter la production de matériaux composites à partir des composants de la pulpe de betterave. D'autant plus que les résultats de leur caractérisation physicochimique montrent que les pulpes de différentes

origines ne présentent pas de différences importantes [2,3]. Cette homogénéité est un point important pour une utilisation à l'échelle industrielle des pulpes comme charge végétale dans des bétons légers.

Cependant, l'absorption d'eau par les granulats lignocellulosiques conduit à des ajouts supplémentaires d'eau au gâchage pour préserver la maniabilité du béton. La fraction non consommée par l'hydratation du ciment doit ensuite être évacuée. Ceci se fait dans des temps plus ou moins longs qui dépendent des paramètres de constitution et structuraux du béton ainsi que des conditions climatiques. Il s'ensuit que l'un des problèmes majeurs signalés pour les bétons lignocellulosiques est celui du séchage et ceci d'autant plus que le matériau est plus fortement chargé en matières lignocellulosiques. Or, dans la construction, le séchage d'une dalle est un point crucial pour l'application d'un revêtement.

C'est pourquoi, de nombreuses recherches ont été menées pour limiter l'absorption d'eau par les granulats végétaux dans une matrice cimentaire. Citons [3 à 12] sans être exhaustifs. Les auteurs s'intéresseront dans ce travail au cas d'un traitement par enrobage au ciment et compareront le séchage d'une dalle de béton à base de pulpes de betterave issues de l'industrie sucrière, ainsi traitées ou non traitées, à celui d'une dalle identique en mortier normal.

## 2. MATIERES PREMIERES ET TECHNIQUES EXPERIMENTALES

### 2.1. MATIERES PREMIERES

Le ciment utilisé est un ciment Portland, le CPA-CEM I 52,5, qui a des temps de début de prise de l'ordre de 3 à 4 heures et des temps de fin de prise d'environ 6 heures.

L'eau de gâchage est celle du réseau

Les pulpes de betteraves utilisées sont des pulpes fraîches fournies par l'USICA. Le traitement réalisé est un traitement d'enrobage avec un lait de ciment [3]

### 2.2. ELABORATION DES COMPOSITES

Les auteurs ont choisi le cas de composites fortement chargés en matière lignocellulosique soit un rapport volumique  $\text{Pulpe}_{\text{saturée}}/\text{ciment}=3$  qui préserve toutefois des résistances mécaniques satisfaisantes. Après saturation, les pulpes, traitées ou non, sont mélangées aux autres composants dans un malaxeur à mortier normalisé. L'eau est ajoutée lors du malaxage dans un rapport volumique  $E/C=0,3$ . Le matériau frais est ensuite versé dans un moule de 1mx1m de profondeur 8cm.

### 2.3. DETERMINATION DE L'HUMIDITE DANS LES DALLES

Elle a été réalisée grâce à une méthode électrophysique automatisée mise au point au laboratoire [2].

Des réservations ont été effectuées dans la dalle à des profondeurs différentes (1, 4 et 7cm), suivant une disposition concentrique, afin de vérifier les caractères liés à l'hétérogénéité ou l'anisotropie de la distribution des valeurs instantanées d'humidité relative dans la dalle. Dans ces réservations, aux hauteurs correspondantes, nous avons placé des tubes cylindriques de cuivre dans lesquels sont introduits les capteurs (figure 1).

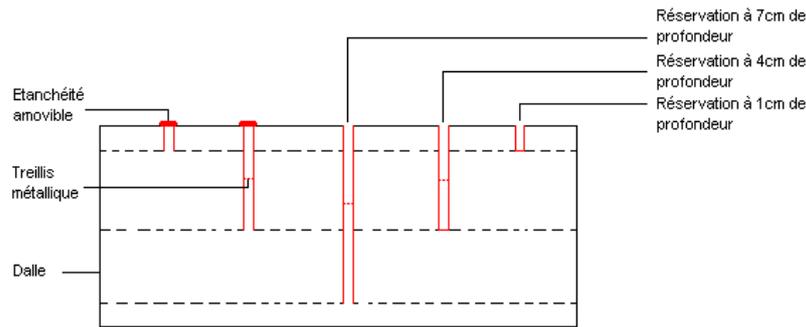


Figure 1 : Schéma en coupe de la dalle et ses réservations

La figure 2 présente le schéma de la disposition des réservations correspondant à chaque profondeur de mesure dans la dalle. L'appellation P1R2BG signifie pour un échantillon que la réservation se situe à 7cm de profondeur, à 20cm du centre et en bas à gauche de la dalle.

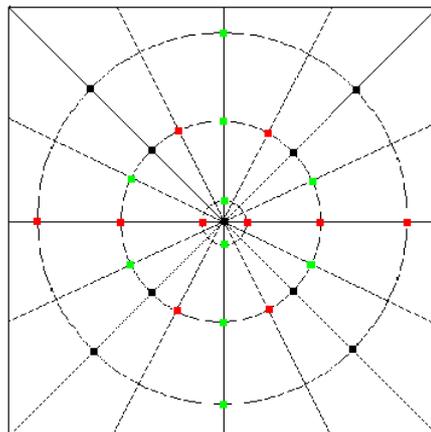


Figure 2 : Schéma de la répartition des réservations dans la dalle : profondeur de réservation : 1 cm (■) ; 4 cm (■) ; 7 cm (■) et rayons : **R0** (centre de la dalle), **R1** (petit rayon = 5 cm), **R2** (rayon moyen = 20 cm) et **R3** (grand rayon = 40 cm)

### 3. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET ANALYSE

#### 3.1. INFLUENCE DE LA PRESENCE DE PULPES NON TRAITÉES SUR LA CINÉTIQUE DE SÉCHAGE

Le fait d'apprécier la dispersion éventuelle des résultats obtenus au niveau de chaque plan de mesure peut permettre de limiter le nombre de points de mesure dans des applications futures.

Les mesures ont été effectuées à 25°C pour une dalle de béton de pulpes non traitées et une dalle identique de mortier. Elles ont permis de constater que, quelle que soit la profondeur de mesure dans la dalle, les valeurs d'humidité relative obtenues ne sont pas liées à la localisation des points de mesure. Autrement dit, à la même profondeur, les valeurs mesurées près de la périphérie de la dalle et celles qui l'ont été vers le centre de la dalle sont très peu différentes les unes des autres. Ceci confirme que le séchage de la dalle s'effectue de façon unidirectionnelle du bas vers le haut de la dalle. La figure 3 donne des exemples des valeurs relevées pour la dalle de mortier et la dalle à base de béton de pulpe.

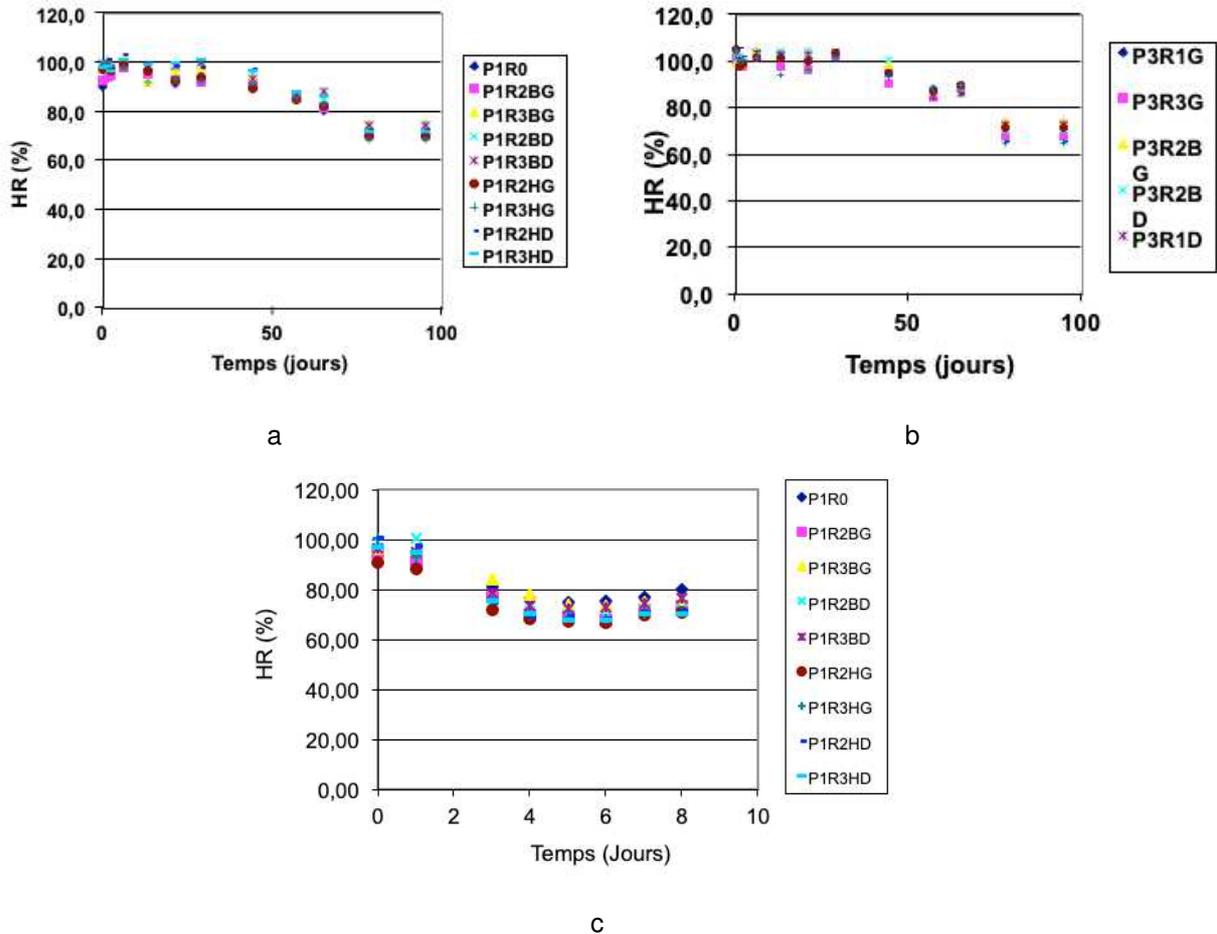


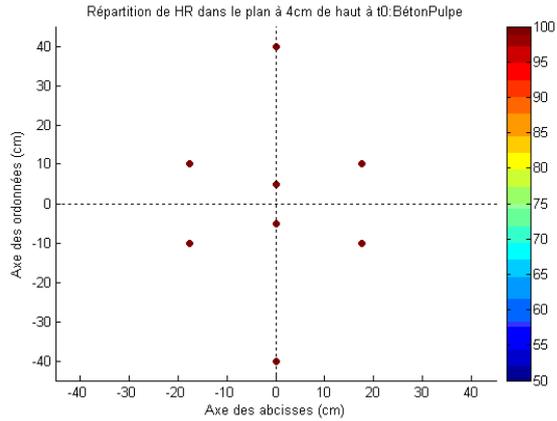
Figure 3 : Evolution de l'humidité relative en fonction du temps , a) à 7 cm dans la dalle de béton de pulpe de betteraves non traitée, b) à 1 cm dans la dalle de béton de pulpe de betteraves non traitée et c) à 7 cm dans la dalle de mortier

Dans le cas des bétons de pulpe de betterave non traitées (figure 3a), la présence d'eau liquide ( $95 \leq HR \leq 100\%$ ) a pu être constatée jusqu'à 30 jours. A partir de 45 jours, l'air dans la dalle est toujours saturé mais il n'y a plus localement présence d'eau liquide ( $85 \leq HR < 95\%$ ) aux environs immédiats des points de mesure. Au bout de 80 jours environ, l'humidité relative se stabilise à environ 70%.

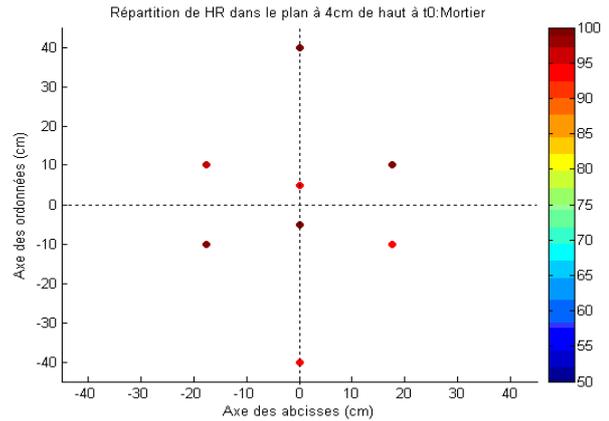
Le séchage de la dalle de mortier (figure 3c) est nettement plus rapide que celui de la dalle de béton de pulpes de betteraves non traitées. On peut estimer qu'à partir de 2 jours il n'y a plus d'eau liquide dans la dalle. La stabilisation se fait à environ 70% d'humidité relative, comme dans le cas des bétons de pulpes. Elle apparaît au bout de 4 à 5 jours.

A titre d'exemple, nous donnons dans la figure 4 une cartographie des résultats obtenus pour le plan médian des dalles de béton de pulpe de betterave et de mortier à trois moments clés du processus de séchage des dalles :

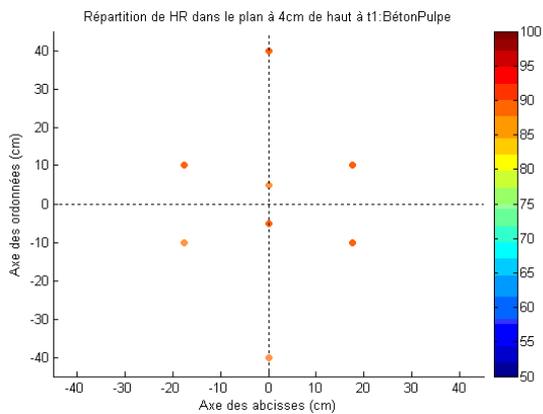
- au début de l'expérimentation qui correspond à la fin de l'élaboration de la dalle  $t_0$
- à la mi-pente de la perte d'humidité moyenne de la dalle  $t_1$
- à la fin de l'expérimentation correspondant à l'équilibre entre la dalle et l'atmosphère environnante  $t_2$ .



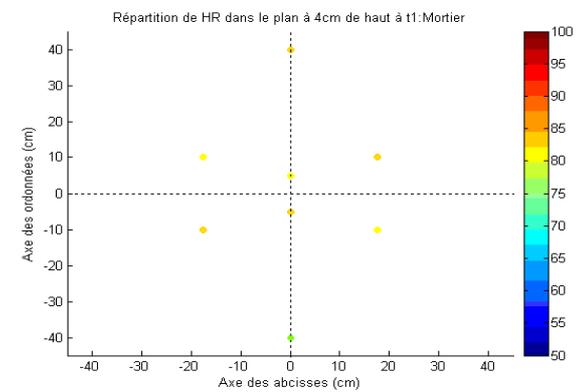
I.a



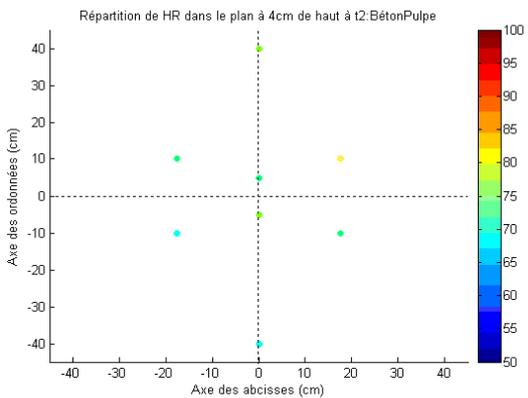
II.a



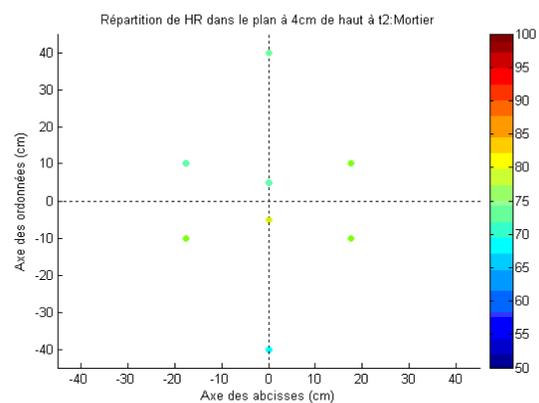
I. b



II. b



I.c



II. c

Figure 4 Répartition spatiale d'une projection plane des points de mesure de l'humidité relative dans I) dans la dalle de mortier, II) la dalle de béton de pulpes ; a) au début de l'expérimentation, b) mi-pente de séchage, c) à l'équilibre avec la salle. Le code de couleur donne la valeur de l'humidité relative mesurée : 50 % → 100 % = Bleu → Rouge.

Notons que le code de couleur utilisé pour traduire la valeur de l'humidité relative indiquée par chaque capteur ( $50 \leq HR \leq 100\%$ ), correspond à la moyenne des mesures de l'humidité relative, effectuées avec les capteurs au niveau de chaque plan de mesure.

Les résultats expérimentaux conduisent aux conclusions suivantes :

- les conditions hygrométriques initiales des dalles peuvent être considérées comme identiques en tout point de la dalle que ce soit dans le cas du béton de pulpe de betterave ou dans le cas du mortier (valeurs à  $t_0$ )
- dans le cas du mortier, dès la phase correspondant à la mi-pente de séchage, le plan de mesure médian est celui où on note la plus forte humidité relative tandis que le plan haut présente les plus faibles valeurs d'humidité relative (valeurs à  $t_1$  et  $t_2$ )
- dans le cas du béton de pulpe, c'est dans la phase finale du séchage que nous pouvons remarquer des nuances hygrométriques notables entre plans de mesure avec toujours le plan médian qui présente les plus fortes valeurs et le plan haut qui donne les plus faibles.
- globalement, les valeurs d'humidité relative mesurées sur la dalle de pulpe de betterave semblent toujours plus homogènes que celles relevées sur la dalle de mortier. l'écart type maximum mesuré pour le béton de pulpe (3,8) est plus petit que celui du mortier (7,3).
- De manière générale, il existe peu de dispersion des valeurs mesurées aux différentes étapes de l'expérimentation.
- les écarts de mesure de l'humidité relative entre points de mesure semblent se conserver dans le temps, autrement dit le séchage serait globalement uniforme quel que soit le point de mesure considéré.

### 3.2. INFLUENCE DU TRAITEMENT DES PULPES

La figure 5 donne une synthèse des courbes de séchage pour les 3 matériaux étudiés : mortier normal de ciment, béton de pulpes de betteraves non traitées, bétons de pulpes de betteraves traitées.

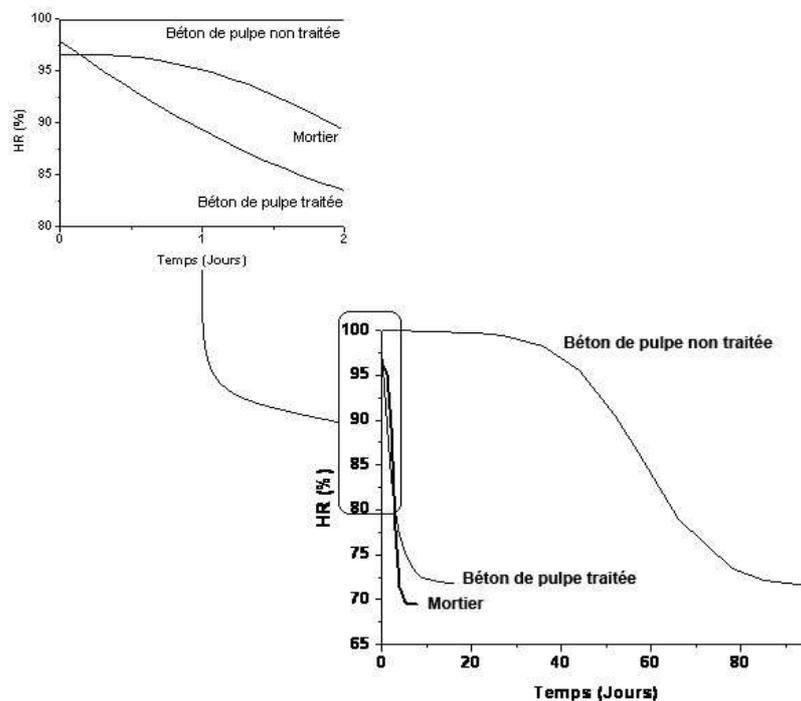


Figure 5 synthèse des courbes de séchage pour les 3 matériaux étudiés : mortier normal de ciment, béton de pulpes de betteraves non traitées, bétons de pulpes de betteraves traitées.

Il apparaît que le traitement des pulpes par enrobage au lait de ciment rapproche très nettement la durée de séchage du composite de celle du mortier. Le suivi de la cinétique de séchage d'un mortier montre qu'il n'y a plus de présence d'eau à l'état liquide dans le matériau au bout de 2 jours et que l'équilibre avec l'ambiance est atteint au bout de 4 à 5 jours. Pour la dalle de béton de pulpes non

traitées, la présence de l'eau à l'état liquide se maintient jusqu'à 30 jours environ et il faut près de 80 jours pour que le matériau atteigne l'équilibre avec l'ambiance. Dans le cas de la dalle de béton de pulpes traitées, on peut noter une présence d'eau liquide seulement dans les premières 24 heures. L'équilibre avec l'ambiance est atteint au bout de 8 à 9 jours environ. Toutefois, dans la première phase du séchage, c'est-à-dire celle qui correspond au départ de l'eau liquide, il apparaît que le début de la dessiccation est plus rapide pour le béton de pulpe traitée que pour le mortier.

Ceci peut s'expliquer par la quantité totale d'eau nécessaire à la saturation des pulpes. La quantité d'eau nécessaire à la saturation des pulpes non traitées est importante (~250%). Le traitement d'enrobage réduit l'absorption d'eau par les pulpes (~80%). La quantité d'eau ajoutée au gâchage est la même dans les deux cas. La quantité totale d'eau nécessaire au maintien de la maniabilité du béton frais est donc inférieure et le séchage lié à l'évaporation de l'eau en excès par rapport à la quantité nécessaire à l'hydratation du ciment est plus rapide.

## 4. CONCLUSION

Ce travail entre dans une étude plus vaste concernant la valorisation des pulpes de betterave issues de l'industrie sucrière. Dans les études antérieures menées au laboratoire, la possibilité de fabriquer des composites ayant été établie, une étude des caractéristiques mécaniques et thermiques a montré des performances de même niveau que celles des bétons lignocellulosiques déjà commercialisés. Des tests ayant montré que le séchage des bétons de pulpe est fortement lié à celui des pulpes, une étude antérieure s'est également intéressée à la mise en place de traitements des pulpes pour une application dans le bâtiment. Le traitement retenu dans cette étude est un enrobage des pulpes au ciment qui présente un coût faible et la possibilité de diviser par 3 la capacité d'absorption d'eau des pulpes.

Dans la présente étude, l'intérêt du traitement des pulpes en ce qui concerne la cinétique de séchage a été mis en évidence. Il a été constaté que la dalle de mortier ne montre plus de présence d'eau à l'état liquide dans le matériau après 2 jours et l'équilibre avec l'ambiance est atteint à partir de 4 à 5 jours. Pour la dalle en béton de pulpes non traitées, la présence d'eau à l'état liquide se maintient jusqu'à 30 jours environ et il faut plus de 80 jours pour que le matériau atteigne l'équilibre avec la salle. Enfin, dans le cas de la dalle en béton de pulpes traitées au ciment, on peut noter une présence d'eau liquide uniquement dans les premières 24h. Si l'équilibre avec l'ambiance est atteint au bout d'un temps un peu plus long que dans le cas du mortier, soit 8 à 9 jours environ, on peut toutefois remarquer que le début de la dessiccation est plus rapide pour le béton de pulpes traitées que pour le mortier.

On voit donc les potentialités de valorisation de ces coproduits de l'industrie sucrière pour l'élaboration de matériaux isolants pour la construction moyennant un traitement peu coûteux que ce soit en énergie ou économiquement.

## 5. REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements à l'USICA qui a soutenu ce travail.

## 6. REFERENCES

- 1 [http://www.ademe.fr/partenaires/agric/htdocs/action\\_biomat\\_8.htm](http://www.ademe.fr/partenaires/agric/htdocs/action_biomat_8.htm): Extraits du site web (18 Octobre 2018)
- 2 L.B.Mboumba-Mamboundou, *Analyse des facteurs de risques liés à l'incorporation des pulpes de betteraves dans des matrices cimentaires*. Thèse de doctorat-Université de Picardie Jules Verne (2005).

- 3 P. Montreal, *Etude de faisabilité de bétons lignocellulosiques à base de pulpe de betterave, traitements physico-chimique des granulats et évaluation de l'influence sur les performances mécaniques, hydriques et thermiques*, Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne (2007).
- 4 M. Khazma, *Contribution à l'optimisation des composites cimentaires à base de coproduits du lin : procédés de traitement de la matière végétale et de la matrice ; impact de ces procédés sur les propriétés des composites élaborés*. Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne (2008).
- 5 P. Monreal, L.B. mboumba-mamboundou, R.M. Dheilly, M. Queneudec, *Effects of aggregate coating on the hygral properties of lignocellulosic composites*, Cement and Concrete Composites, Vol. 33 (2) (2011) 301-308.
- 6 M. Khazma, A. Goullieux, R M Dheilly, B. Laidoudi, M. Quéneudec, *Impact of aggregate coating with a PEC elastomer on properties of lightweight flax shive concrete*, Industrial Crops and Products, Vol. 33 (1) (2011) 49-56.
- 7 M. Khazma, A. Goullieux, M. Quéneudec, *Valorisation d'anas de lin dans des composites cimentaires : étude comparative de l'impact des différents traitements sur les performances de la fraction végétale et des composites*. Congrès International Francophone NoMAD 2012, Toulouse, France, (2012) 6-17.
- 8 M. Bédérina, M. Gotteicha, B. Belhadj, R.M. Dheilly, M.M. Khenfer, M. Quéneudec, *Drying shrinkage studies of wood sand concrete. Effect of different wood treatments*, Construction and Building Materials, Vol. 36 (2012) 1066-1075.
- 9 M. Khazma, A. Goullieux, R M Dheilly, M. Quéneudec, *Coating of a lignocellulosic aggregate with pectin/polyethylenimin mixtures: Effects on flax shive and cement-shive composite properties*, Cement and Concrete Composites, Vol. 34 (2) (2012) 223-230.
- 10 M. Khazma, A. Goullieux, R.M. Dheilly, A. Rougier, M. Quéneudec, *Optimization of flax shive-cementitious composites: impact of different aggregate treatments using linseed oil*, Industrial Crops and Products, Vol. 61 (2014) 442-452.
- 11 Al-Mohamadawi, K. Benhabib, R. M. Dheilly, A. Goullieux, *Influence of lignocellulosic aggregate coating with paraffin wax on flax shive and cement-shive composite properties*. Construction and Building Materials, 102 (1) (2016) 94-104.
- 12 M. Bederina, B. Belhadj, M. S. Ammari, A. Goullieux, Z. Makhloufi, N. Montrelay, M. Quéneudec, *Improvement of the properties of a sand concrete containing barley straws - treatment of the barley straws*, Construction and Building Materials, 115 (2016) 464-477.