



**HAL**  
open science

# Étude de l'influence de l'incorporation de la poudre de bois d'Eucalyptus camaldulensis Dehn algérien sur la cinétique d'hydratation du coulis de ciment

Linda Anes, Mansour Tazrout, Alexandre Govin

## ► To cite this version:

Linda Anes, Mansour Tazrout, Alexandre Govin. Étude de l'influence de l'incorporation de la poudre de bois d'Eucalyptus camaldulensis Dehn algérien sur la cinétique d'hydratation du coulis de ciment. *Matériaux & Techniques*, 2021, 109 (2), pp.203. 10.1051/mattech/2021021 . emse-03414299

**HAL Id: emse-03414299**

**<https://hal-emse.ccsd.cnrs.fr/emse-03414299>**

Submitted on 27 Jun 2022

**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.

# Étude de l'influence de l'incorporation de la poudre de bois d'eucalyptus *Camaldulensis Dehn* algérien sur la cinétique d'hydratation du coulis de ciment

Linda ANES<sup>1,\*</sup>, Mansour TAZROUT<sup>1</sup>, Alexandre GOVIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université M'hamed Bougara de Boumerdès ; Unité de Recherche Matériaux, Procédés et Environnement (URMPE) Boumerdès, 35000, Algérie

<sup>2</sup> Mines Saint-Etienne, Univ Lyon, CNRS, UMR 5307 LGF, Centre SPIN, F-42023, Saint-Étienne, France

**Résumé :** Pour réduire le problème d'incompatibilité entre le bois et le ciment, un traitement du renfort bois, par de l'eau bouillante peut être une solution afin d'éliminer les composés qui inhibent la prise du ciment. L'effet de la teneur de poudre de bois d'eucalyptus *Camaldulensis Dehn* naturel et traité thermiquement à l'eau bouillante sur la cinétique d'hydratation a été étudié par calorimétrie isotherme, conductimétrie et thermogravimétrie (ATG). La poudre de bois diminue légèrement la consommation du gypse et retarde l'hydratation des phases silicates. A des concentrations massiques élevées de 25% et 30%, le bois retarde fortement la précipitation de la portlandite. A des teneurs de 10% en masse de poudre de bois, le traitement n'a pas montré d'efficacité sur la cinétique d'hydratation ; à 20% de bois traité, l'hydratation du ciment est accélérée par rapport au témoin. Les extractibles du bois n'ont pas affecté la formation de l'ettringite due à la présence d'ions de sulfate de bois.

**Mots clés :** Composite bois-ciment / bois d'eucalyptus /traitement thermique/cinétique d'hydratation.

**Abstract:** To reduce the problem of incompatibility between wood and cement, a treatment of the wood reinforcement with boiling water may be a solution to remove compounds that inhibit cement setting. The effect of the wood powder content of Eucalyptus *Camaldulensis Dehn* natural and heat-treated with boiling water on the hydration kinetics was studied by isothermal calorimetry, conductimetry and thermogravimetry (TGA). The wood powder slightly reduces gypsum consumption and delays the hydration of the silicate phases. At high concentrations of 25% and 30% by weight, wood strongly delays the precipitation of portlandite. At contents of 10 wt % wood powder, the treatment did not show any efficiency on the hydration kinetics, at 20% of treated wood the cement hydration is accelerated compared to the control. Wood extractives did not affect the formation of ettringite due to the presence of wood sulphate ions.

**Keywords :** Wood-cement composite, Eucalyptus wood, heat treatment, hydration kinetics

## 1 Introduction :

Les composites bois-ciment représentent un axe de recherche important ces dernières années afin de valoriser des ressources renouvelables et remplacer la matière conventionnelle d'origine pétrochimique coûteuse. La valorisation de la matière végétale dépend principalement de sa disponibilité. En Algérie le bois d'eucalyptus est largement disponible mais peu valorisé en bois d'œuvre en raison de défauts de séchage. Ces derniers se traduisent par l'effondrement de la structure des cellules [1,2], la formation d'ondulation à la surface du bois et l'apparition de fentes internes qui rendent les bois inaptes à l'emploi.

Cependant, le problème d'incompatibilité entre le bois et le ciment reste un frein au développement de ces matériaux composites. Cette incompatibilité se traduit par un retard de prise et une modification de la cinétique d'hydratation du ciment due à la présence des substances inhibitrices libérées par le matériau lignocellulosique [3]. Les sucres et les hémicelluloses sont les premiers responsables de l'incompatibilité bois /ciment [4] [5].

---

1\*-Auteur correspondant :

E-mail: l.anes @univ-boumerdes.dz

La présence des substances inhibitrices entraîne la formation d'une membrane imperméable autour des grains anhydres, empêchant la pénétration de l'eau dans le ciment [6,7]. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour améliorer le contact bois/ciment telles que la réтификаction [8] qui améliore l'interface en limitant les variations dimensionnelles du bois. Toutefois, le problème d'acides organiques générés durant le processus de traitement thermique affecte le composite [8]. Par ailleurs, l'ajout d'accélérateur de prise [9], le traitement chimique du renfort [10] et d'autres techniques de traitement sont utilisées afin de minimiser l'effet des extractibles du bois sur le milieu cimentaire alcalin. En effet, la cinétique d'hydratation du ciment est souvent modifiée par certains produits chimiques solubles du bois. Le milieu cimentaire, fortement alcalin, a tendance à attaquer chimiquement les hémicelluloses et les extractibles provoquant un fort retard du processus d'hydratation [11]. Les variations dimensionnelles du bois engendrées par l'eau absorbée dans les parois cellulaires sont aussi un problème. En effet, cela entraîne le gonflement des particules de bois et engendre une mauvaise cohésion entre le bois et les grains du ciment, en particulier lorsque le bois fini par sécher. Ces deux phénomènes sont les principaux

facteurs d'incompatibilité entre les deux matériaux du composite bois-ciment [12].

Dans le cadre de l'étude envisagée, le matériau composite bois-ciment élaboré est un matériau innovant dans la construction en Algérie. Il sera utilisé en panneaux isolants afin de réduire les importations. L'avantage économique de ce matériau composite réside principalement dans la valorisation de la matière première locale bois et ciment.

Pour valoriser le bois d'eucalyptus, son incorporation sous forme de bois broyé en fines particules dans une matrice cimentaire est envisagée.

Cette étude vise à déterminer l'influence de l'incorporation de poudre de bois d'eucalyptus *Camaldulensis Dhen*, à différents états, naturel et traité par l'eau bouillante, sur l'hydratation du ciment en

milieu dilué et concentré afin de comprendre le mécanisme d'interaction entre le bois et la matrice cimentaire.

## **2 Matériel et méthodes**

### **2.1. Programme expérimental**

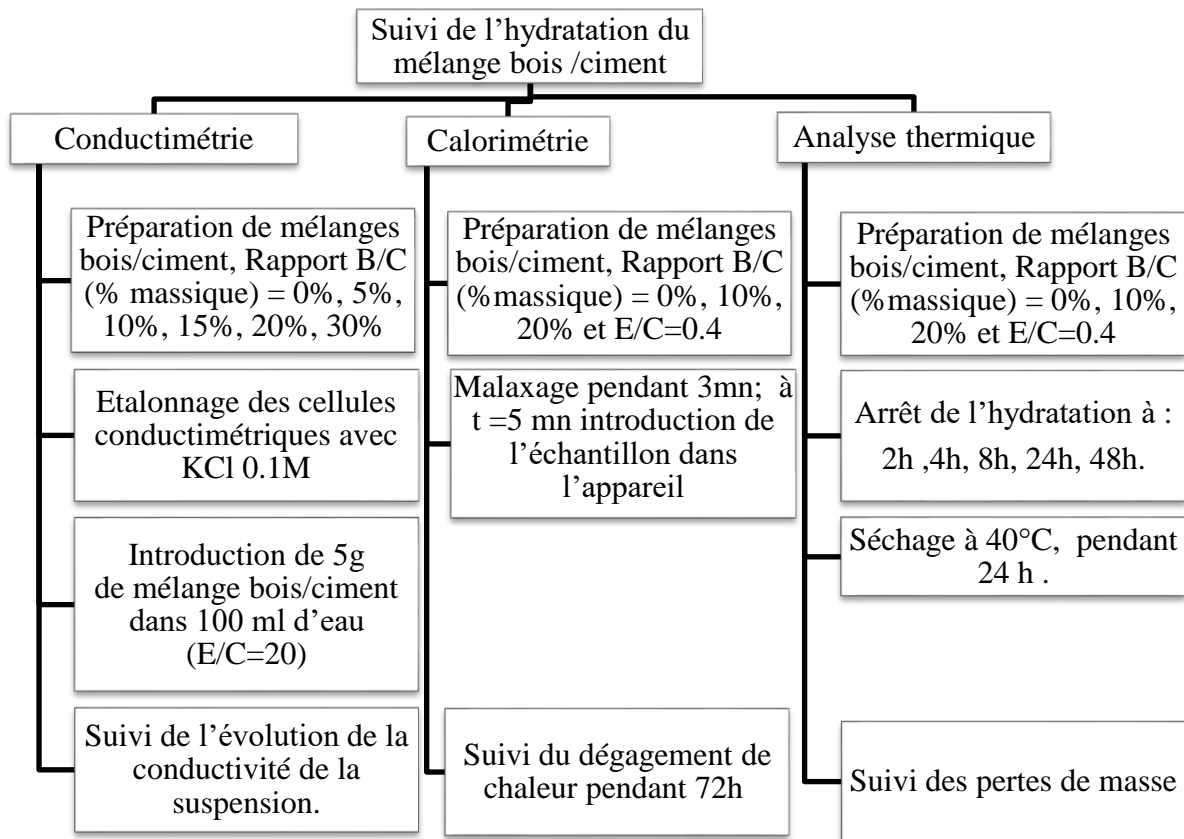
Pour comprendre le mécanisme d'hydratation du ciment en présence de la poudre de bois, les caractérisations suivantes ont été réalisées.

1-Un suivi de la mobilité des ions par conductimétrie avec un E/C=20, afin que l'hydratation ne s'accompagne pas d'un durcissement.

2-Evaluer les modifications de dégagement de la chaleur du mélange ciment-bois durant 72h, un temps suffisant pour atteindre la prise du ciment.

3-Un suivi de perte en masse du mélange ciment-bois par analyse thermique (ATG)

Les essais ont été réalisés selon les protocoles expérimentaux décrits dans l'organigramme présenté en figure 1.



**Fig.1.** Organigramme des expériences.

### 2.1.1. Élaboration du composite bois-ciment (coulis)

L'étude des composites bois-ciment a été menée à l'aide de ciment portland CEMI-52.5N, conforme aux exigences de la norme NA442/2013 [14] ; produit par la cimenterie LAFARGE de Sour El Ghzlane (Algérie). La composition chimique du ciment a été déterminée par Fluorescence des rayons X et les phases minéralogiques ont été calculées par l'approximation de Bogue [13], et présentées dans le tableau 1.

**Tableau 1** : La composition chimique et les phases minéralogiques déterminées par l'approximation de Bogue

Composition chimique	Teneur (%)
SiO <sub>2</sub>	21.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.06
CaO	32.49
MgO	2.71
SO <sub>3</sub>	1.98
CaOLibre	1.67
K <sub>2</sub> O	0.65
Na <sub>2</sub> O	0.12
Approximation de Bogue	
C3S	53.32
C2S	23.39
C3A	5.16
C4AF	12.35

Le choix de la matière végétale s'est porté sur une espèce de bois d'eucalyptus parmi la centaine d'espèces qu'il regroupe. Il s'agit d'eucalyptus *Camaldulensis Dehn*. La matière première bois est issue d'un arbre provenant de la forêt d'Alaksar de Bejaia. Après son abattage et écorçage, l'arbre a été broyé et trituré sous forme de fines particules (Fig.2) à l'aide d'un broyeur

industriel de l'Entreprise TRANSBOIS de Béjaia. Par la suite, le bois trituré a été tamisé manuellement afin de récupérer la poudre de granulométrie  $\leq 400 \mu\text{m}$ . Cette poudre est ensuite séchée dans une étuve à  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , jusqu'à la stabilisation de sa masse.



**Fig.2.** La poudre de bois d'eucalyptus *Camaldulensis Dehn*.

Le bois d'eucalyptus a ensuite été utilisé soit à l'état naturel (BN), c'est-à-dire sans aucun traitement, soit traité par de l'eau bouillante (BB).

Le traitement à l'eau bouillante, consiste en la mise en ébullition du bois dans un récipient pendant quatre heures à l'aide d'une plaque chauffante, puis égoutté et rincé à l'eau afin d'enlever les substances organiques (extractibles) libérées par le bois en présence d'eau.

Toutes les expériences ont été réalisées avec de l'eau ultra-pure (18 M $\Omega$ .cm).

## 2.2. Méthodes d'analyses

L'influence de la poudre de bois d'eucalyptus sur l'hydratation du coulis de ciment a été suivie par trois techniques différentes : la conductimétrie, la microcalorimétrie isotherme et l'analyse thermique (ATG).

### 2.2.1. En milieu dilué par conductimétrie

La mesure de la conductivité électrique du mélange bois/ciment a été effectuée en milieu dilué avec un rapport E/C=20. L'équipement de conductimétrie est composé d'une cellule à double enveloppes thermostatée à 25°C et de deux électrodes circulaires en inox reliées à un conductimètre CDM210 (Radiometer). Avant chaque manipulation, la cellule est étalonnée à l'aide d'une solution KCL 0.1M ( $\sigma=12.88$  mS/cm).

L'influence de l'incorporation du bois a été examinée pour des dosages massique en bois compris entre 5 et 30% ,avant introduction dans la cellule de mesure, le ciment et le bois sont homogénéisés à l'aide d'un turbulat. 5g du mélange bois-ciment, sont insérés dans la cellule préalablement remplie de 100 ml d'eau distillée.

Cette technique a été utilisée par de nombreux auteurs : Rodier et al. 2019[15] ; Boix et al. 2020 [10]. Boustingorry et al

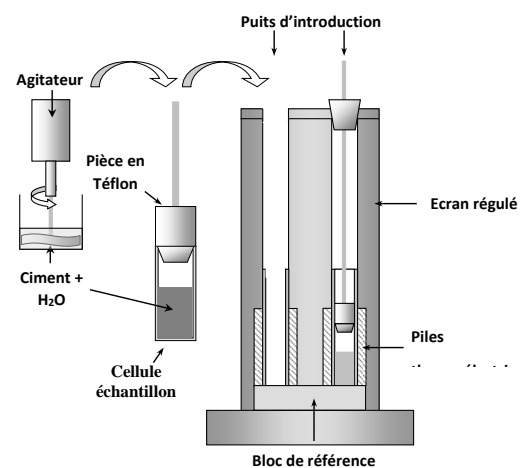
.2005 [16] ; Govin et al [11] ; Comparret et al [17].

### 2.2.2. En milieu concentré par microcalorimètre isotherme

L'appareil utilisé est un Bio calorimètre (B.C.P. Arion) constitué de deux fluxmètres semi-conducteurs et un écran thermo-régulé (Fig.3). Cette technique permet de suivre le flux de chaleur dégagée au cours d'hydratation du ciment.

Des pourcentages 0%,10% et 20% massique de poudre de bois naturel (BN) et de bois traité à l'eau bouillante (BB) sont mélangés avec 50g du ciment. Un rapport E/C=0.4 a été utilisé.

Après malaxage pendant 3 min à 300 tr/min à l'aide d'un malaxeur de paillasse équipé d'une pale d'agitation, l'échantillon est inséré dans le calorimètre à t=5 min.



**Fig. 3.** Schéma du calorimètre et de la préparation de l'échantillon.

### 2.2.3. Analyse thermogravimétrie (ATG)

L'analyse thermique a été réalisée à l'aide d'une thermobalance TG 92 (SETARAM).

L'échantillon est obtenu par homogénéisation du mélange ciment-poudre de bois (% massique B/C=10% et 20%), la pâte de ciment est préparée avec un rapport E/C constant (E/C = 0,4), puis malaxage selon la norme EN 196-1 à l'aide d'un malaxeur CAD MLX60, La pâte est ensuite déposée dans des cubes en PVC et stockée dans un dessiccateur à 20°C saturé en vapeur d'eau. Les cubes sont cassés et broyés aux instants souhaités. L'hydratation a ensuite été stoppée à différents temps de cure (2h, 4h, 8h, 24h et 48h) par échange de solvant. L'échantillon est d'abord démoulé, broyé puis immergé dans 50 ml d'isopropanol pendant 15 min. L'ensemble est ensuite filtré sous vide puis rincé à l'aide de 20 mL d'isopropanol et 20 ml d'éther. Le retentât est étuvé durant 24h à 40°C et broyé à 100 µm (voir organigramme Figure.1).

Les analyses sont réalisées sous un flux d'argon sur une masse d'échantillon d'environ 1.58±0.4 mg.

Le principe consiste à enregistrer les pertes de masse dans un domaine de température compris entre 30°C et 900°C.

Les quantifications de la portlandite  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  et du carbonate de calcium ont été calculées à partir des formules suivantes :

$$Q(\%)_{\text{CH}} = \frac{Q(\%)_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} M_{\text{CH}}$$

$$Q(\%)_{\text{CaCO}_3} = \frac{Q(\%)_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} M_{\text{CaCO}_3}$$

$Q(\%)_{\text{H}_2\text{O}}$  et  $Q(\%)_{\text{CO}_2}$  représentent respectivement la perte de masse d'eau et de  $\text{CO}_2$  (en %),  $M_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $M_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$ ,  $M_{\text{CO}_2}$  et  $M_{\text{CaCO}_3}$  les masses molaires de l'eau, de la portlandite, du  $\text{CO}_2$  et du carbonate de calcium.

## 3. Résultats et discussions

### 3.1. Caractérisation de l'effet retard d'hydratation

#### 3.1.1. Par microcalorimétrie isotherme

Les premières analyses ont été menées sur une pâte de ciment avec un rapport E/C=0.4 et servira d'échantillon de référence. L'influence du bois sur la cinétique d'hydratation du ciment a été étudiée par le biais du flux de chaleur dégagé et de la quantité de chaleur libérée en cours des 72 premières heures d'hydratation pour les différentes concentrations. (Figure 4.5).

Pour le coulis de ciment, la courbe calorimétrique est caractérisée par trois temps ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ) :  $t_1$  correspondent à la fin de la période d'induction ;  $t_2$  et  $t_3$  étant les temps du maximum des 2<sup>èmes</sup> et 3<sup>èmes</sup> pics. Le pic exothermique maximal est atteint



vers 236 min (soit environ 3.9 h) et correspond à l'hydratation des phases aluminates et silicates, selon Sauvat et al [9],

La période de décélération s'accompagne par une diminution de flux de chaleur due à la couche d'hydrates formés autour des grains anhydres empêchant la diffusion de l'eau.

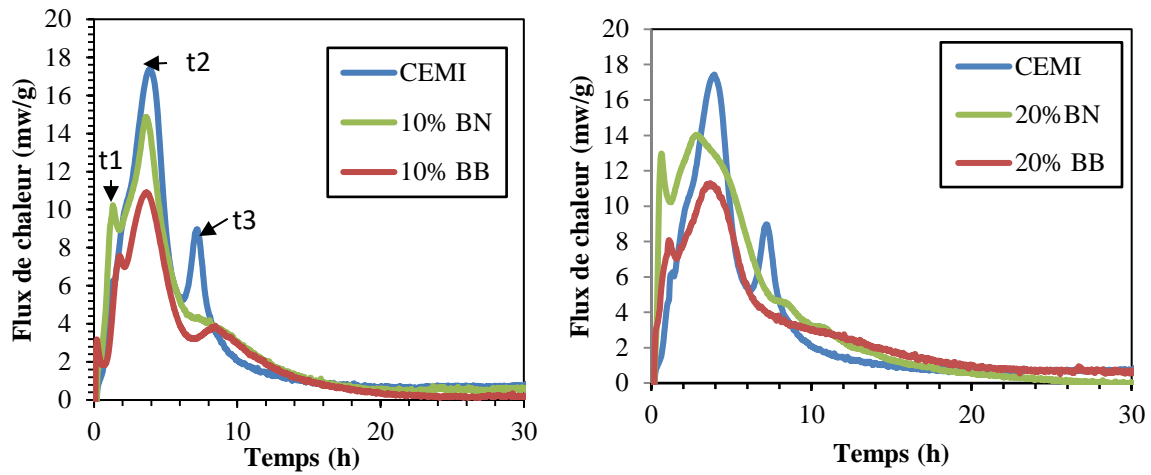
La substitution du ciment par du bois naturel et du bois traité à l'eau bouillante conduit à la réduction du maximum de flux de chaleur dégagé mais également à une légère accélération de ce dernier. En effet, le maximum est atteint à 218 min pour 10% (BN), à 161 min pour 20% (BN), à 227 min pour 10% (BB) et à 200 min pour 20% (BB). Cela pourrait être dû aux sucres du bois qui catalysent la réaction entre le gypse et les aluminates [18]. Le même phénomène a été observé par Delannoy [19] avec du bois de chanvre.

La variation de la concentration de la poudre de bois d'eucalyptus naturel et traité : le troisième pic ( $t_3$ ) correspond à la déplétion des sulfates (confirmé sur la courbes TG ). La présence du bois entraîne

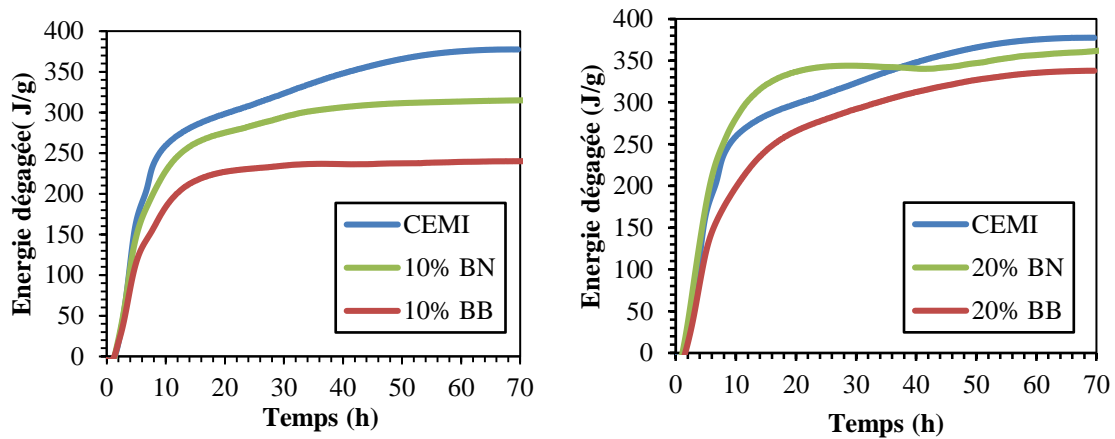
un abaissement de l'intensité du pic et un retard de son apparition. Le phénomène s'amplifie avec le dosage en bois.

La présence du bois entraîne également un léger allongement de période d'induction du ciment. Cet allongement atteint 43min pour 10% de BB.

La chaleur cumulée en cours d'hydratation, indique le degré d'hydratation du mélange bois-ciment. La Figure 5 présente l'influence du bois sur l'évolution de l'énergie dégagée lors de l'hydratation du ciment. Celle-ci a été calculée par intégration du flux de chaleur. En général, l'énergie libérée lors de l'hydratation du ciment est proportionnelle au degré d'hydratation. Pour le ciment de référence, l'énergie dégagée après 72 h d'hydratation est de 377 J/g. Cette dernière est réduite en présence de poudre de bois. Le traitement à l'eau bouillante ne semble pas apporter d'amélioration par rapport au bois naturel. Cela peut être attribué au degré d'incompatibilité entre le bois d'eucalyptus et le ciment comme démontré par Silva [20] en étudiant du bois d'eucalyptus traité thermiquement.



**Fig. 4.** Evolution du flux de chaleur au cours du temps en fonction du dosage et de la nature du bois introduit.



**Fig. 5.** Evolution de l'énergie dégagée au cours du temps en fonction du dosage et de la nature du bois introduit.

### 3.1.2. L'influence du bois sur la précipitation de la portlandite

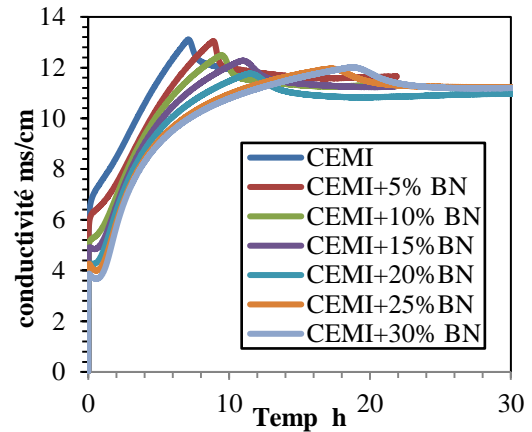
Les résultats des suivis d'hydratation en suspension diluée par la méthode conductimétrique sont présentés par la Figure 6. Le contact des grains de ciment avec l'eau provoque une augmentation de la conductivité. Cette augmentation est caractéristique de dissolution des phases anhydres du ciment, libérant des ions

silicates, hydroxyde, aluminates dans la solution. Dans un 2<sup>ème</sup> temps, la germination des C-S-H entraîne un infléchissement de la courbe. Ensuite, la conductivité augmente progressivement car les ions consommés ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{OH}^-$  et  $\text{H}_2\text{SiO}_4^{2-}$ ) par la précipitation des CSH (germination et croissance) ne compense pas ceux libérés par la dissolution des phases anhydres. Lorsque le degré de sursaturation par

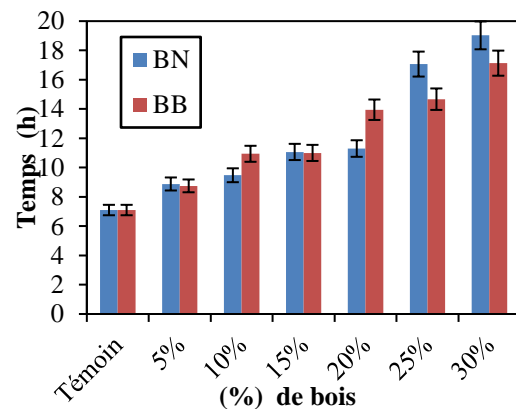
rapport à la portlandite atteint une valeur limite, celle-ci précipite et la conductivité chute brutalement.

L'hydratation du ciment en présence des différents pourcentages de poudre de bois d'eucalyptus *Camaldulensis Dehn*: 0% ,5% ,10% ,15% ,20%,30% est illustrée par la Figure 6. Les résultats montrent que la précipitation de la portlandite est fortement retardée par la présence du bois. Ce retard est proportionnel à la teneur en bois introduite. La présence de la poudre (BN) semble agir dès l'étape de dissolution car elle conduit à une diminution de la conductivité initiale. Ce résultat pourrait provenir du phénomène de complexation entre les ions  $Ca^{2+}$  et les extractibles du bois. Après la dissolution, le palier sur la courbe indique un ralentissement du processus d'hydratation et la limitation de la germination des hydrates. Des résultats similaires ont été obtenus par Boix et al. en travaillant sur l'interaction entre du ciment et du miscanthus [10]. La longueur du palier dépend du nombre de C-S-H présents dans la suspension.

L'utilisation du bois traité à l'eau bouillante (BB) a diminué le temps de précipitation de la portlandite comparant avec le mélange en (BN) (Fig.7), ce qui peut être expliqué par l'action de traitement qui élimine quelque extractible de bois.



**Fig.6.** Effet de la concentration en bois naturel sur l'hydratation du ciment en conductimétrie.



**Fig. 7.** Temps de précipitation de la portlandite à différentes teneurs en bois.

### 3.1.3. Analyse thermogravimétrie

L'analyse thermogravimétrique est une technique qui a été utilisée par plusieurs auteurs afin de comprendre l'effet du bois sur la matrice cimentaire [8, 19,21].

Théoriquement, les décompositions des phases contenues dans les matériaux cimentaires (Fig.8.a) dans la plage de température 30-900°C sont les suivantes :

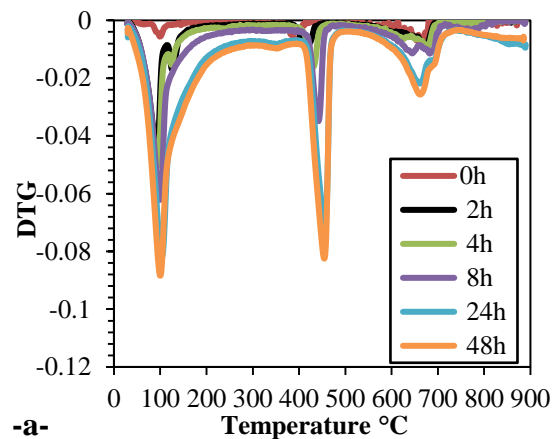
1. 30-105°C, évaporation de l'eau libre et de l'eau physiquement adsorbée à la surface des hydrates.
2. 110-170°C, la décomposition du gypse et l'ettringite.
3. 450-550°C, déshydratation de la portlandite.
4. 600-900°C, décarbonatation du carbonate de calcium.

L'analyse des deux premiers pics des courbes ATG (Fig. 8.a, b); qui correspondent respectivement à la décomposition de l'ettringite et la consommation de gypse, et ce dernier peut être surveillée jusqu'à la consommation totale.

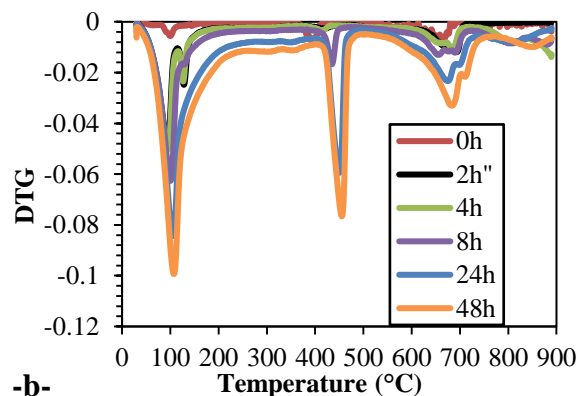
Pour le CEMI+20% de bois (BN) la décomposition du gypse a légèrement ralenti, par rapport au ciment pur CEMI, qui a été observé au -delà de 8h d'hydratation.

La quantité de l'ettringite formée par la consommation de gypse est similaire pour CEMI+20% de bois (BN) et ciment pur. Cependant, l'utilisation de (BB) a accéléré la formation de l'ettringite par rapport au CEMI et bois naturel. Le traitement à l'eau bouillie se traduit par l'élimination d'un certain produit soluble, qui inhibe la prise et améliore les caractéristiques mécaniques du ciment [22] [23]. Ceci, indique que la quantité d'eau est suffisante pour hydrater le mélange. Ce résultat est conforme à

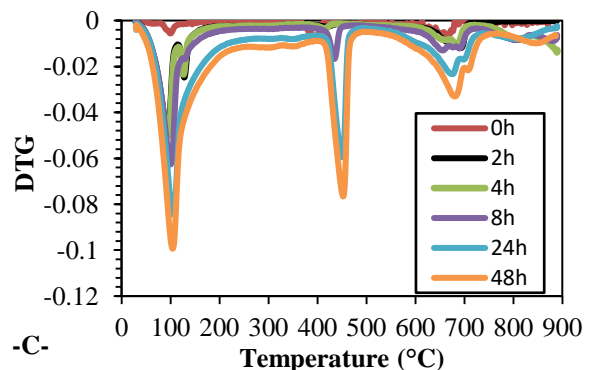
l'observation de Brochted [24]; qui explique qu'un rapport E/C approprié, accélère la formation de l'ettringite, donc le bois n'a pas empêché l'hydratation des aluminates.



-a-



-b-



-c-

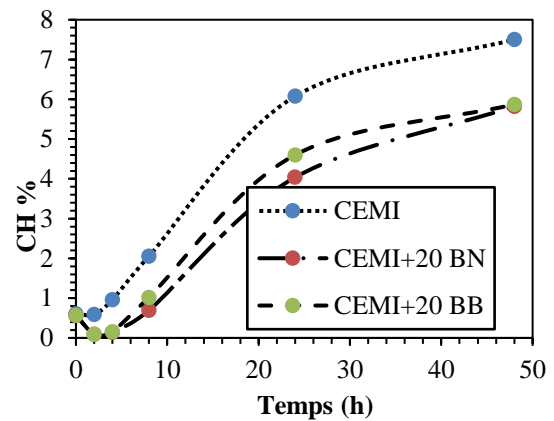
**Fig .8.** Courbes DTG de (a) ciment pur (CEMI), (b) CEMI + 20% BN et (c) CEMI + 20% BB.

La quantification de la portlandite a été faite à partir de la courbe TG pour le ciment CEMI et pour le mélange bois – ciment, 10 et 20%. La figure 9, montre l'évaluation du pourcentage massique de la portlandite.

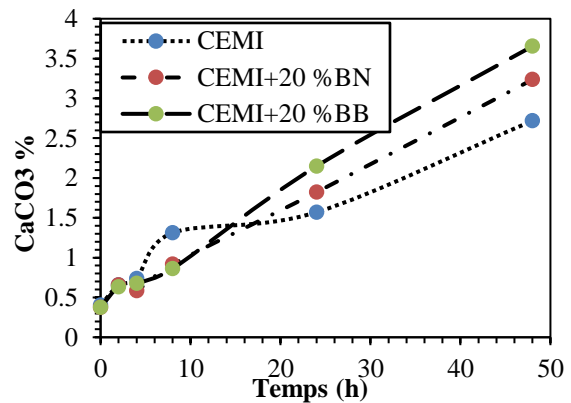
Avec l'échantillon de référence CEMI, on remarque une augmentation de la teneur en portlandite au cours de temps ; la présence de bois inhibe la formation de la CH pendant 5h pour les compositions CEMI+20% BN et CEMI+20% BB. Ceci peut être lié à l'hygroscopicité du bois qui absorbe une quantité d'eau de gâchage après 5 h ; l'accélération diffère, le traitement à l'eau bouillie a amélioré le rendement de CH.

Ces résultats ont été confirmés dans les études de suivi d'hydratation de Monsi et al. [25] ; ayant conclu que les lignosulfonates de sodium inhibent l'hydratation de C3S.

L'analyse de la phase  $\text{CaCO}_3$ , présentée par la figure (10) ; montre l'existence d'une corrélation avec la portlandite, Silva 2002 [26], a montré que la diminution de la quantité de la portlandite implique une augmentation de  $\text{CaCO}_3$ . Pour le CEMI et pour le mélange bois/ciment la quantité de  $\text{CaCO}_3$  ; augmente en fonction de temps d'hydratation. La quantité des phases carbonatées est fortement augmentée dans les composites à renfort bois.



**Fig.9.** Évaluation de la teneur en portlandite en fonction du temps

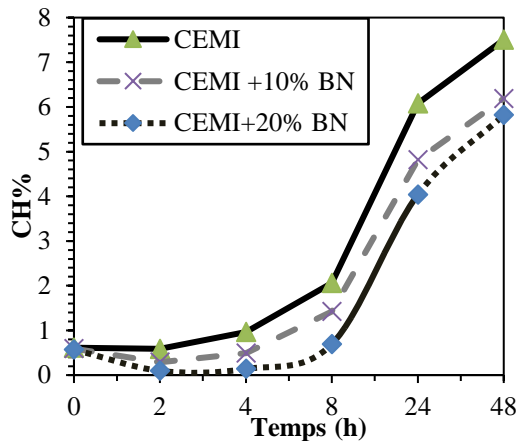


**Fig.10.** Évaluation de la teneur en  $\text{CaCO}_3$  en fonction du temps.

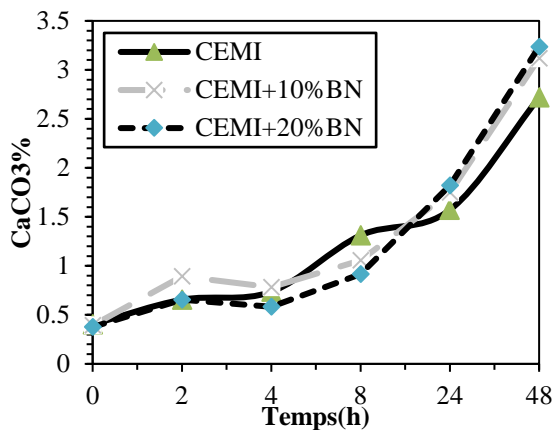
L'analyse thermogravimétrique montre qu'à une teneur de 10 % en bois ; la consommation de gypse est accélérée par rapport à CEMI + 20% BN . La présence d'ions sulfate dans le bois explique la plus grande quantité d'ettringite dans la formule CEMI + 10% BN , par rapport au ciment témoin, et le même phénomène pour le bois traité.

L'évolution de la portlandite est illustrée par la Figure 11. Le bois a ralenti la

formation de la portlandite et ce retard est proportionnel à la concentration introduite ; à partir de 8h, la quantité de carbonate de calcium augmente (Fig.12) ; alors que la quantité de portlandite diminue avec l'augmentation de la teneur en bois naturel.



**Fig. 11.** Influence de la teneur en bois sur la portlandite en fonction du temps(h)



**Fig. 12.** Influence de la teneur en bois sur CaCO<sub>3</sub> en fonction du temps.

#### 4. Conclusion

Le suivi d'hydratation par les trois techniques révèle une modification de la cinétique d'hydratation du ciment en présence de la poudre de bois d'eucalyptus *camaldulensis* Dhen.

Sur la base des expériences réalisées, on peut conclure :

1. En milieu concentré par calorimétrie l'incorporation de la poudre de bois naturel a modifié la vitesse de la dissolution des grains de ciment, déterminé par la variation de la valeur  $t_1$  ; alors que le traitement a favorisé l'accélération de la période.
2. L'efficacité de traitement à l'eau bouillie dépend de la teneur en bois ; à 20% l'hydratation du ciment est accélérée par rapport au témoin.
3. La conductimétrie montre un retard de précipitation et diminution de la quantité de la portlandite avec les teneurs élevées en bois. L'hétérogénéité de bois influence négativement sur un certain pourcentage de bois traité.
4. A des concentrations 5, 15, 25,30% le bois traité a diminué le temps de précipitation de la portlandite, ce qui montre l'accélération d'hydratation du mélange bois/ciment.
5. L'analyse thermogravimétrique a montré un retard de la consommation de gypse due à l'hygroscopicité du bois ; alors que la formation de l'ettringite est stabilisée, et le manque d'ions sulfate est compensé par celle du bois. Une accélération d'hydratation des

aluminates et des silicates à une teneur de 20% en bois traité.

Compte tenu des résultats obtenus sur le bois traité thermiquement à l'eau bouillante, nous recommandons d'appliquer un autre type de traitement au bois d'eucalyptus avec un faible impact environnemental : il s'agit du traitement thermique par réification du bois qui a l'avantage de stabiliser le matériau sur le plan des variations dimensionnelles tout en diminuant son hygroscopicité.

Il faudra envisager d'étudier l'efficacité de ce nouveau traitement sur le bois d'eucalyptus au point de vue mécanique, thermique, acoustique, durabilité ; impact environnemental, ainsi que son influence sur la cinétique d'hydratation du ciment.

**Remerciements.** Les auteurs tiennent à remercier tout particulièrement Alexandre Govin et toute l'équipe du laboratoire de Saint Etienne, ainsi que le Directeur de l'Unité de Recherche (URMPE) pour avoir facilité et soutenu financièrement le séjour de Mme Linda ANES au sein du laboratoire de recherche de Saint Etienne.

#### Références :

[1]. M. T. Elaieb, S. B. Ayed, S. Ouellani, M. L. Khouja, I. Touhami, & K. Candelier, Collapse and physical properties of native and pre-steamed Eucalyptus camaldulensis

and Eucalyptus saligna wood from Tunisia. *Journal of Tropical Forest Science*, 31(2), 162-174(2019).

[2]. M. Tazrout, M. T. Abadlia, & F. Mothe, Etude de la récupération du collapse par microdensitométrie avec du bois d'Eucalyptus camaldulensis Dehn provenant de Beghla en Algérie. *Bois & Forêts Des Tropiques*, 312(312), 63-75 (2012).

[3] B. Na., Z. Wang., H. Wang., & X. Lu.. Wood-cement compatibility review. *Wood research*, 59(5), 813-826 (2014).

[4] V. G. Castro., R. D. R. Azambuja., N. F. Bila., C. F. A. Parchen., G. I. Sasaki., & S. Iwakiri. Correlation between chemical composition of tropical hardwoods and wood-cement compatibility. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 38(1), 28-34 (2018).

[5] S. Frybort., R. Mauritz., A. Teischinger., & U. Müller. Cement bonded composite review. *BioResources*, 3(2), 602-626 (2008)..

[6]. JD. Birchall, NL. Thomas, The mechanism of retardation of setting of OPC by sugars. In *Proc. Br. Ceram. Soc. No. 35*, p. 305 (1984).

[7]. GM. Bruere, Set-retarding effects of sugars in portland cement pastes. *Nature* 212.5061 :502-503 (1966).

[8]. A. Govin, Aspects physico-chimiques de l'interaction bois-ciment. Modification de l'hydratation du ciment par le bois (Doctoral dissertation) (2004)

[9]. N. Sauvat, R. Sell., E. Mougel, & A. Zoulalian, A study of ordinary Portland cement hydration with wood by

- isothermal calorimetry. *Holzforschung*, 53(1), 104-108 (1999).
- [10]. E.Boix, E.Gineau, J. O.Narciso, H.Höfte, G. Mouille, & P .Navard, Influence of chemical treatments of miscanthus stem fragments on polysaccharide release in the presence of cement and on the mechanical properties of bio-based concrete materials. *Cement and Concrete Composites*, 105, 103429 (2020).
- [11]. A.Govin., A .Peschard., E,Fredon., & R .Guyonnet. New insights into wood and cement interaction. (2005).[12] F. Z, Brahmia., P. G,Horváth., & T. L, Alpár . (2020). Effect of pre-treatments and additives on the improvement of cement wood composite: a review. *BioResources*, 15(3), 7288-7308.
- [12] F. Z, Brahmia., P. G,Horváth., & T. L, Alpár . (2020). Effect of pre-treatments and additives on the improvement of cement wood composite: a review. *BioResources*, 15(3), 7288-7308.
- [13]. H. F. W. Taylor, High temperature chemistry. In *Cement Chemistry* (pp. 28-32). Academic Press New York (1990).
- [14]. Norme Algérienne NA442. Liants hydrauliques- ciments courants : Composition, spécifications et critères de conformité. 2ème Edition. Institut Algérien de la normalisation.
- [15]. L.Rodier, K.Bilba, C.Onésippe, & M. A. Arsène, Utilization of bio-chars from sugarcane bagasse pyrolysis in cement-based composites. *Industrial Crops and Products*, 141, 111731 (2019).
- [16]. P.Boustingorry, P.Grosseau, R.Guyonnet., & B.Guilhot, The influence of wood aqueous extractives on the hydration kinetics of plaster. *Cement and Concrete Research*, 35(11), 2081-2086 (2005).
- [17] C,Comparet., A,Nonat., S,Pourchet., J. P ,Guicquero., E ,Gartner., & M ,Mosquet.. Chemical interaction of Di-Phosphonate terminated monofunctional polyoxyethylene superplasticizer with hydrating tricalcium silicate. *Special Publication*, 195, 61-74 (2000).
- [18]. G. D. De La Grée, Q. L.Yu, & H. J. H. Brouwers, Assessing the effect of CaSO<sub>4</sub> content on the hydration kinetics, microstructure and mechanical properties of cements containing sugars. *Construction and Building Materials*, 143, 48-60 (2017).
- [19]. G. Delannoy, S.Marceau, P.Gle, E.Gourlay, M.Guéguen-Minerbe, D.Diafi, ... & F.Farcas, Impact of hemp shiv extractives on hydration of portland cement. *Construction and Building Materials*, 244, 118300 (2020).
- [20]. D. W. Silva, M. V.Scatolino, T. G. T.Pereira, A. P.Vilela, T. M. C Eugenio,M. A.Martins,..& L. M. Mendes, Influence of thermal treatment of eucalyptus fibers on the physical-mechanical properties of extruded.fiber-cement composites. *Materials Today: Proceedings* (2020).
- [21]. L. Wang, S. S.Chen, D. C.Tsang, C. S.Poon, & K. Shih, Value-added recycling of construction waste wood into noise and thermal insulating cement-bonded particleboards. *Construction and Building materials*, 125, 316-325 (2016).
- [22]. S. Fertikh, M.Merzoud, M.Habita, & A.Benazzouk, Comportement mécanique et hydrique des composites à matrice cimentaire et argileuse à base de diss «*Ampelodesma mauritanica*» (2011).



[23]. M.Merzoud, M. F. Habita, Elaboration de composite cimentaire à base de diss «Ampelodesma Mauritanica». *Afrique Science: Revue Internationale Des Sciences Et Technologie*, 4(2) (2008)..

[24]. J.Bensted, Some applications of conduction calorimetry to cement hydration. *Advances in Cement Research*, 1(1), 35-44 (1987).

[25].. M.Bishop,A. R Barron, Cement hydration inhibition with sucrose, tartaric acid, and lignosulfonate: analytical and spectroscopic study. *Industrial & engineering chemistry research*, 45(21), 7042-7049 (2006)..

[26]. D. A. D.Silva, , H. R.Roman, , & P. J. P. Gleize, Evidences of chemical interaction between EVA and hydrating Portland cement. *Cement and concrete research*, 32(9), 1383-1390 (2002).