Colloque
LE VEGETAL DANS NOS VIES
Voies de valorisation de la biomasse tropicale

PROPRIETES MECANIQUES ET THERMIQUES DE COMPOSITES CIMENT/BAGASSE

Cristel ONESIPPE POTIRON, Marie-Ange ARSENE, Loïc RODIER & Ketty BILBA BOURGUIGNON

Axe 2

cristel.onesippe@univ-antilles.fr

Jeudi 07 Décembre 2017
UFR des Sciences médicales Hyacinthe Bastaraud Campus de Fouillole - Amphithéâtre de Médecine

INTRODUCTION

- **En Guadeloupe, utilisation des ciments et bétons dans le domaine de la construction;**

- **les infrastructures sont impactées par les séismes, ouragans et quotidiennement par la corrosion des armatures métalliques;**

- **maîtrise des consommations d'électricité dans le bâti (PRERURE*, RTG, ...)**

Le choix des matériaux de construction des infrastructures est un enjeu majeur et revêt un intérêt particulier pour le laboratoire COVACHIM-M2E.

***PRERURE: Plan énergétique Régional pluriannuel de prospection et d'exploitation des Energies Renouvelables et d'Utilisation Rationnelle de l'Energie**

INTRODUCTION

➔ **Une possible voie de prévention de la corrosion est la substitution partielle du ciment par une pouzzolane naturelle locale ou encore par des cendres issues de sous-produits agro-industriels.**

➔ **Renfort des matrices cimentaires par des fibres végétales locales afin d'apporter de l'isolation thermique au matériau final.**

ELABORATION de MATERIAUX COMPOSITES

Matrice = Ciment + pouzzolane naturelle + cendres de bagasse
Renfort = Fibres de bagasse

MATERIAUX DE L'ETUDE

Matrice

- Ciment commercial CLA OU

-Matrice ternaire (=ciment commercial CEM I + 15% mass. pouzzolane naturelle NP + 5% mass. cendres de bagasse Bas – 600°C)

Renfort

Fibres de bagasse *Saccharum officinarum* 0,4 – 1 mm brutes B ou pyrolysées P (200°C, 2h, N_2, 2L/h);
% massiques= 2, 4 et 6%.

Elimination de l'eau par un procédé d'aspiration sous vide inspiré du procédé Hatschek [1]

COMPOSITES

Prise/durcissement et vieillissement en enceinte climatique (23°C, 50% HR) ou dans l'eau (23 et 40°C) pendant 28 et 90 jours et pendant 180 et 360 jours

[1] Savastano et al. Cement and Concrete Composites 2000, 22: 379-384

OBJET DE L'ETUDE

➔ Evaluer la bagasse à la fois en tant que substitut minéral et en tant que renfort de la matrice cimentaire.

- **Détermination et évaluation des propriétés thermiques des composites (conductivité thermique, capacité thermique/chaleur spécifique).**

- **Détermination et évaluation des propriétés mécaniques des composites (résistance à la flexion).**

SOMMAIRE

I – Influence de la durée de prise sur les propriétés des composites

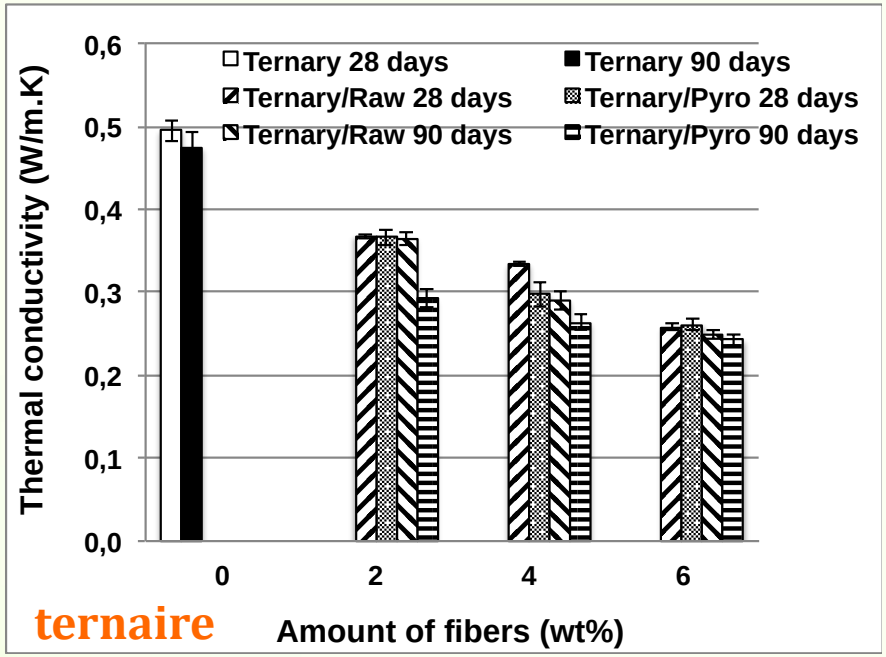
II – Influence du milieu de vieillissement sur les propriétés des composites

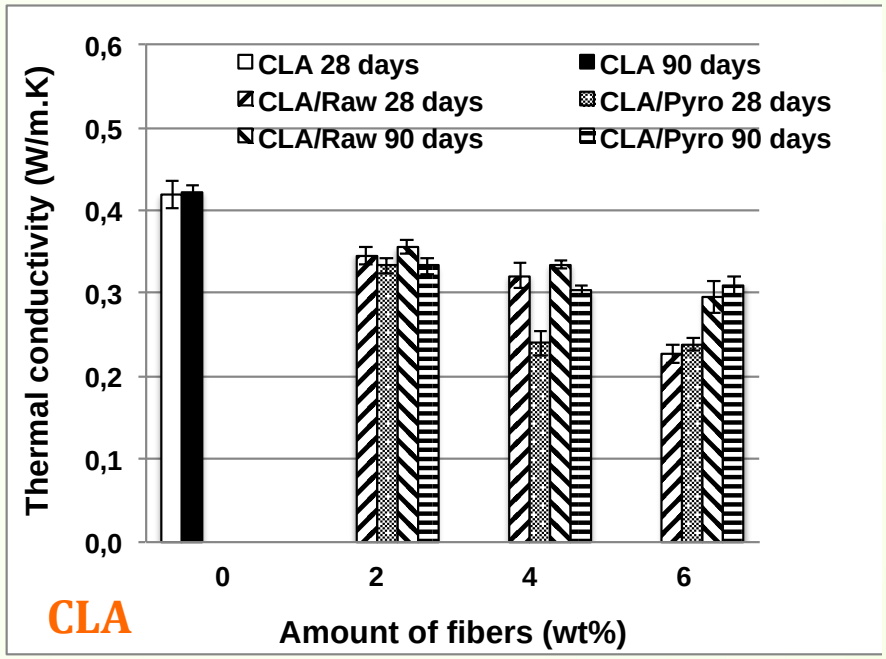
III – Conclusion et perspectives

I – Influence de la durée de prise sur les propriétés des composites

I – Influence de la durée de prise sur les propriétés des composites

Conductivité thermique λ (28 et 90 jours)





➔ **Quel que soit l'âge l'ajout de fibres abaisse toujours λ des 2 matrices.**

➔ **La conductivité thermique des composites est la plus diminuée par 6% massique de FV:**

- **pour la matrice ternaire, quel que soit l'âge,**
- **pour la matrice CLA, à 28 jours.**

➔ **A 90 jours, λ composites ternaires < λ composites CLA.**

➔ **Pyrolyse: PAS d'influence.**

Chaleur spécifique Cp (28 jours)

Environment	28 days		
	Material	Specific heat (J/g.K)	Porosity (%)
Curing chamber (23 °C, 50% RH)	Ternary	1.14 ± 0.08	37.87
	Ternary 2B	1.19 ± 0.04	54.71
	Ternary 6B	1.06 ± 0.21	78.61
	CLA	1.12 ± 0.02	32.27
	CLA 2B	1.14 ± 0.01	46.09
	CLA 6B	1.13 ± 0.03	76.16

➔ **A 28 jours de prise, la composition chimique de la matrice n'a pas d'effet sur la Cp.**

➔ **L'ajout de FV augmente la porosité alors que Cp constante: pas d'influence de la porosité sur Cp.**

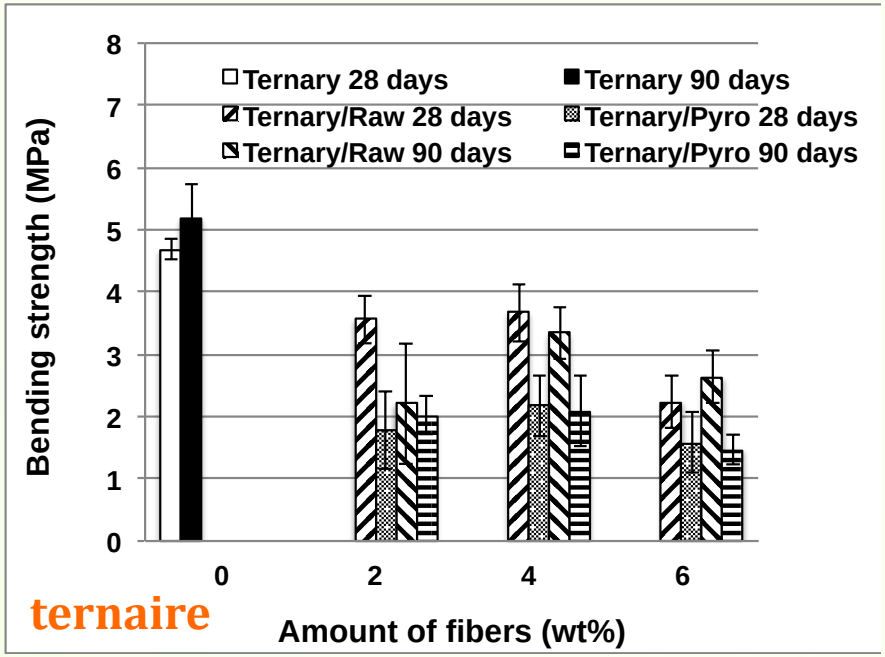
➔ **λ = diffusivité x Cp x densité** [2]

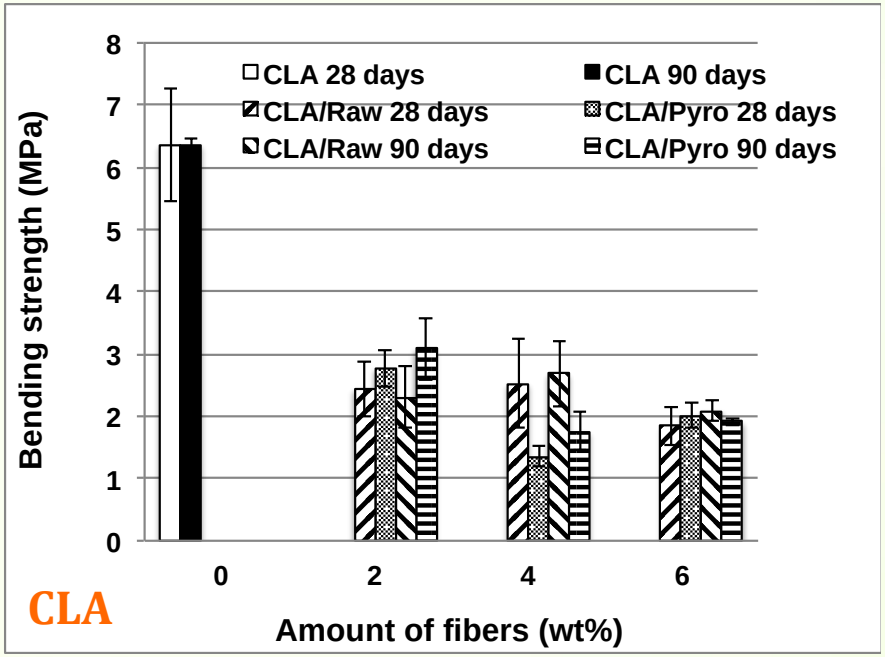
λ varie avec porosité: quand λ diminue, le terme (diffusivité x densité) diminue. Les composites ternaires sont donc isolants puisque la diffusivité traduit la capacité d'un matériau à transmettre une variation de chaleur.

[2] Rodier et al., Proceedings of the International Conference on Composites in Education 2014, Malta

I – Influence de la durée de prise sur les propriétés des composites

Résistance à la flexion (28 et 90 jours)





➔ **L'ajout de FV diminue $\sigma_{flexion}$ des composites, <u>quels que soient l'âge,</u> la nature chimique de la matrice et le pré-traitement des FV (perte d' adhésion F/M).**

➔ **FV brutes: Diminution de $\sigma_{flexion}$ des composites CLA > à celle des composites ternaires, <u>quels que soient la teneur en FV et l'âge</u>.**

➔ **Pyrolyse: PAS d'influence.**

I – Influence de la durée de prise sur les propriétés des composites

➔ **Diminution de $\sigma_{flexion}$ de la matrice ternaire la moins marquée : à 28 jours et pour 2% massique de FV brutes**

➔ **Matrice ternaire:**

Les FV brutes y sont moins dégradées car les cendres de bagasse diminuent la teneur en $Ca(OH)_2$.

Les cendres de bagasse diminuent la réactivité de la matrice ternaire par rapport aux fibres et/ou favorisent la formation de CSH.

➔ **Matrice CLA:**

*** teneur optimale de FV brutes = 2-4 % massiques**

*** teneur optimale en FV pyrolysées = 2% massique.**

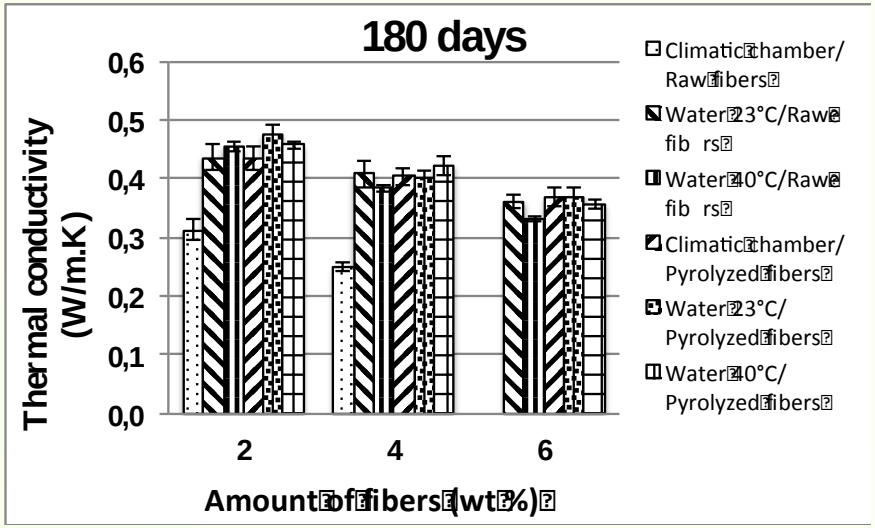
En résumé:

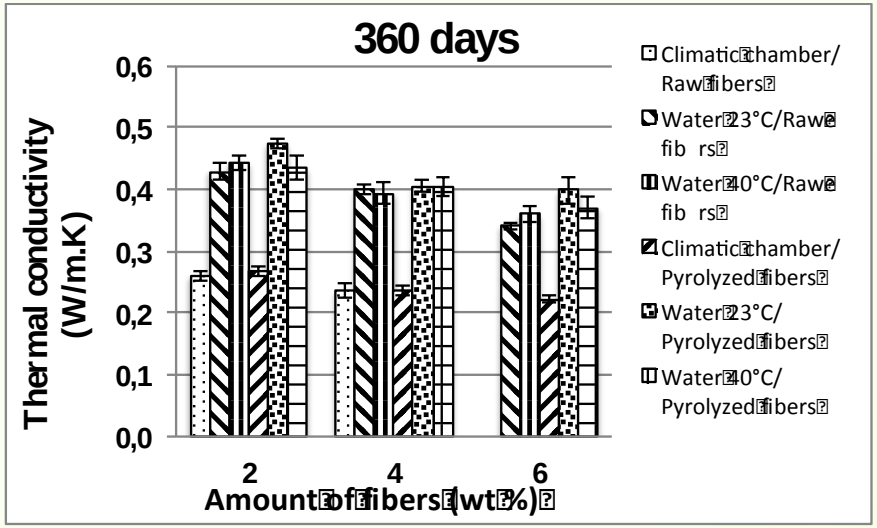
- ➔ **A 28 jours de prise en enceinte climatique (23°C, 50% HR), les composites ternaires meilleurs isolants thermiques que les composites CLA.**
- ➔ **Les fibres dégradent la résistance à la flexion des composites quels que soient le prétraitement envisagé et le type de matrice.**
- ➔ **Le comportement mécanique des composites est lié à l'hydratation du ciment (teneur en porosité, quantités de produits d'hydratation – CSH -, aspects thermo et cinétiques).**

Le recours à la pyrolyse des FV est superflu dans le cas de la matrice ternaire car elle est moins alcaline (aggressive) que le CLA vis à vis des fibres = économie d'énergie et de gaz.

II – Influence du milieu de vieillissement sur les propriétés des composites « ternaires »

Conductivité thermique λ (180 et 360 jours)





- ➔ **Quel que soit l'âge, l'ajout de FV diminue λ (cf augmentation de porosité [3]).**
- ➔ **A 180 jours, λ quasi-constante pour tous les composites (sauf composite ternaire + FV brutes en enceinte climatique).**
- ➔ **A 360 jours, λ la plus faible pour les composites ternaires avec des FV brutes ou pyrolysées, <u>en enceinte climatique</u> (teneur optimale de FV pyrolysées 6% massique).**
- ➔ **Température de l'eau: PAS d'influence,**
  Pyrolyse: PAS d'influence.

[3] Khedari et al. Cement and concrete composites 2001, 23: 65-70

II – Influence du milieu de vieillissement sur les propriétés des composites « ternaires »

λ composites ternaires 2% massique FV vieillis dans l'eau

»

λ matrice CLA sans FV

➔ Après un vieillissement dans l'eau, les composites ternaires demeurent thermiquement compétitifs (cf λ) par rapport à ceux constitués de la matrice CLA.

Chaleur spécifique Cp (180 jours)

Environment	180 days	
	Material	Specific heat (J/g.K)
Curing chamber (23 °C, 50% RH)		
	Ternary 2B	1.12 ± 0.04
	Ternary 6B	1.11 ± 0.01
	Ternary 2P	1.12 ± 0.01
	Ternary 6P	1.12 ± 0.02
Water at 23°C	Ternary 2B	1.47 ± 0.03
	Ternary 6B	1.52 ± 0.06
	Ternary 2P	1.50 ± 0.01
	Ternary 6P	1.44 ± 0.02

➔ **Composites en enceinte climatique: Cp les plus faibles.**

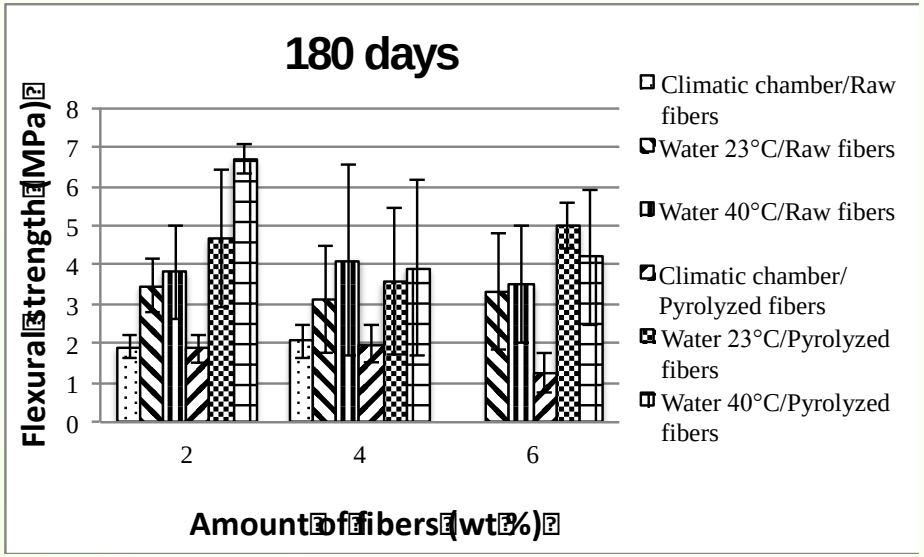
➔ **Cp du même ordre de grandeur pour les teneurs de 2% et 6% massiques de FV brutes ou pyrolysées.**

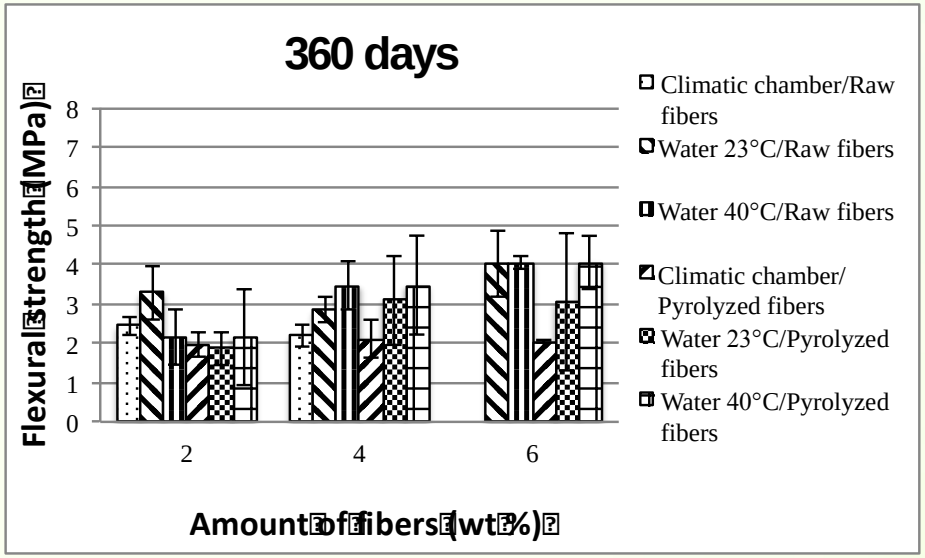
➔ **A 180 jours: PAS d'influence de la teneur en FV ni de la pyrolyse, quel que soit le milieu de vieillissement.**

➔ **A 180 jours: Cp composites ternaires enceinte climatique » Cp CLA (28 jours).**

II – Influence du milieu de vieillissement sur les propriétés des composites « ternaires »

Résistance à la flexion (180 et 360 jours)





➔ **Quelle que soit la température de l'eau: PAS de variation de $\sigma_{flexion}$ des composites MAIS valeurs supérieures à celles obtenues en enceinte climatique.**

➔ **Lorsque la durée du vieillissement augmente , diminution de $\sigma_{flexion}$.**

➔ **Pyrolyse: PAS d'influence.**

II – Influence du milieu de vieillissement sur les propriétés des composites « ternaires »

En résumé,

- ➔ **Dans l'eau, les propriétés thermiques des composites ternaires diminuent, probablement car l'eau favorise la porosité des matériaux.**
- ➔ **En revanche, la prise ce milieu favorise les meilleures résistances mécaniques.**

III –Conclusions et Perspectives

III- CONCLUSIONS

➔ **Evaluer la bagasse de canne à sucre à la fois en tant que substitut minéral et en tant que renfort de la matrice cimentaire.**

THERMIQUE:

Résultats +++ obtenus à 28 jours dans l'enceinte climatique: les composites ternaires sont davantage isolants que les composites CLA.

MÉCANIQUE:

Meilleures résistances à la flexion obtenues avec les composites ternaires à 28 et 90 jours (FV non traitées).

CONFORT THERMIQUE: la matrice ternaire (i.e. substitution du ciment par des pouzzolanes et des cendres de bagasse) des composites est une alternative intéressante à la matrice ciment classique afin d'élaborer des mortiers et bétons isolants.

Meilleur candidat: Matrice ternaire + 2% massique fibres de bagasse brutes

Application envisagée: parois internes (non exposées à l'eau – cf placoplâtre).

III- PERSPECTIVES…

- **Optimisation du mode opératoire de l'élaboration des composites.**
- **Augmentation des teneurs de remplacement des cendres.**
- **Etudes quantitatives : porosité Hg, influence des cendres sur la durabilité des mortiers exposés aux agents agressifs, tests de corrosion, …**
- **Fondamental: influence de l'orientation et de la longueur des fibres sur les propriétés mécaniques ainsi que l'interface fibre/matrice.**
- **….**

REMERCIEMENTS

Fonds européens (programmes 30858 et 33622)

ISOCFV (programme 32524)

AWaPUMat (programme ANR-12-IS09-0002-01)

Région Guadeloupe (programmes 30858 et 33622)

MERCI DE VOTRE ATTENTION

Pourquoi des pouzzolanes?

➔ **Matériaux silico-alumineux, qui, lorsqu'ils sont finement broyés, réagissent avec le $Ca(OH)_2$, relargué lors de l'hydratation du ciment afin de former des composés de la même nature chimique que celle des composés d'hydratation du ciment.**

Pourquoi des cendres?

➔**A l'instar des pouzzolanes, les cendres améliorent les caractéristiques physico-chimiques de la matrice cimentaire.**

Amélioration des résistances mécaniques, faible perméabilité, résistance aux agents chimiques.

Pourquoi des fibres de bagasse?

➔ **Disponibilité, peu cher, diminution de la conductivité thermique du composite, savoir-faire de COVACHIM-M2E.**

Cp quasi-constante et λ= f(nature de la matrice, de la teneur en FV)
d'où (diffusivité x densité)= f(nature de la matrice, de la teneur en FV)