

Fixation du CO₂ dans les blocs de béton à base de granulats recyclés et bio-sourcés

Véronique PARMENTIER, Frédéric MICHEL, Luc COURARD

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Introduction



Emissions de CO₂ : Impacts sur les changements climatiques.



Blocs de béton : Faible teneur en ciment et aucune cuisson nécessaire.



Granulats recyclés : Pallie le manque de granulats naturels et contribue aux différents problèmes de stockage des déchets.



Fibres végétales de type miscanthus : Ressources renouvelables et disponibles presque partout dans le monde.

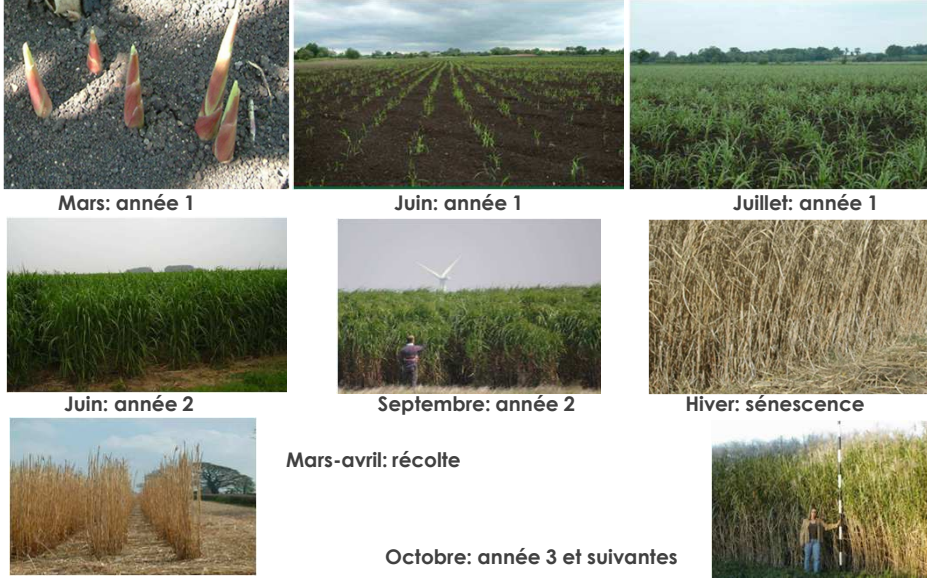


→ Fixer le CO₂ avec des blocs de béton à base de fibres végétales et granulats recyclés.

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Introduction

Fibres végétales de type miscanthus



Mars: année 1

Juin: année 1

Juillet: année 1

Juin: année 2

Septembre: année 2

Hiver: sénescence

Mars-avril: récolte


Octobre: année 3 et suivantes

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013


Introduction

Fibres végétales de type miscanthus

Récolte ensileuse



fauchage et bottelage



Impact environnemental

Cultivar	Energie requise [GJ/ha]	Energie produite [GJ/ha]	Ratio [-]
Miscanthus	9223	300000	+32.53
Saule	6003	180000	+29.99
Chanvre	13298	112500	+8.46
Blé	21465	189338	+8.82
Colza	19390	72000	+3.76

Rendement

Cultivar	Bois	Maïs	Blé dur	Colza	Chanvre	Lin	Miscanthus
Rendement [T MS/ha/an]	6	8.9	5.1	3.8	5.3	2	15

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Introduction

Fibres végétales de type miscanthus

Valorisation: bio-combustible, plasturgie, litière, chaume, isolation

Minéralisation




Figure 6c - miscanthus after mineralization

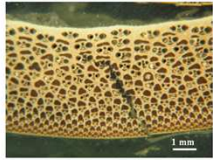


Figure 6d - bamboo after mineralization

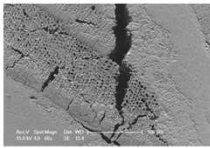


Figure 8c - Miscanthus after mineralization

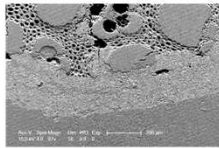


Figure 8d - Bamboo after mineralization

Mineralization of bio-based materials: effect on cement-based mix properties. L. Courard, A. Darimont, A. Louis and F. Michel. Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi (Romania), LV(LVIII), 2012

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Introduction

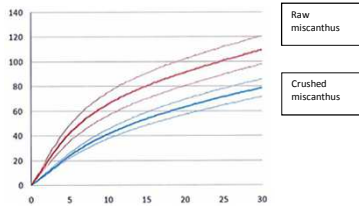
Fibres végétales de type miscanthus

Minéralisation
chaux, ciment, adjuvants, additions, eau

Masse volumique (kg/m³)

Sample	Raw miscanthus	Crushed miscanthus	Mineralized miscanthus
1	111	98	370
2	113	103	371
3	115	103	386

Absorption d'eau



Raw miscanthus

Crushed miscanthus

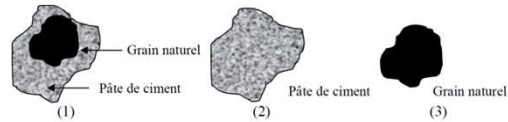
Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Introduction



Granulats recyclés

Propriétés



Properties	NS	RS	NG			RG	
	0-2	0-4	2-7	7-14	14-20	4-14	14-20
Specific weight (kg/m ³)	2707	2309	2670	2691	2757	2329	2319
Bulk density (kg/m ³)	1510	1364	1326	1312	1319	1164	1022
Water absorption (%)	0.28	9.20	1.20	0.37	0.36	4.92	6.00
Sand equivalent	78.8	84	-	-	-	-	-
Fineness modulus	2.72	3.33	-	-	-	-	-
Impurities (%)	-	-	0.27	0.60	0.24	0.52	0.93
Los-Angeles (%)	-	-	25	22	24	34	36
Cubicity (%)	-	-	-	71	-	31	55
Mortar gangue (%)	-	14	-	-	-	-	13

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

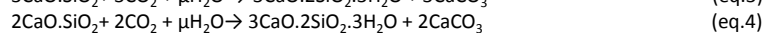
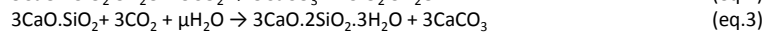
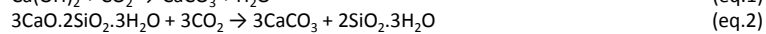
Introduction



Fixation du CO₂

Objectif: performances améliorées en termes de résistance mécanique, de durabilité et de stabilité dimensionnelle, grâce à la disparition aussi complète que possible de Ca(OH)₂.

Équations



Expériences

réduction du retrait des blocs de construction [Toennies *et al.*, 1963]

fabrication de panneaux fibro-ciment [Young *et al.*, 1974]

modifications microstructurales et hydriques [Thiery, 2005]

fixation du CO₂ dans les matrices cimentaires [Shao *et al.*, 2006]

Blocs de construction

énergie consommée: 0.71 GJ/m³ en autoclave, 0.59 GJ/m³ pour cure humide,

0.02-0.10 GJ/m³ quand 10-50% de fixation [CO₂] dans ciment

fixation potentielle de CO₂ dans un bloc 39x19x19 cm: 0.18 kg

1 mur de 1 m² (soit 12.5 blocs 39x19x19 cm): 2.25 kg

(au Canada et USA: 3,2 millions de tonnes [Shao *et al.*, 2006])

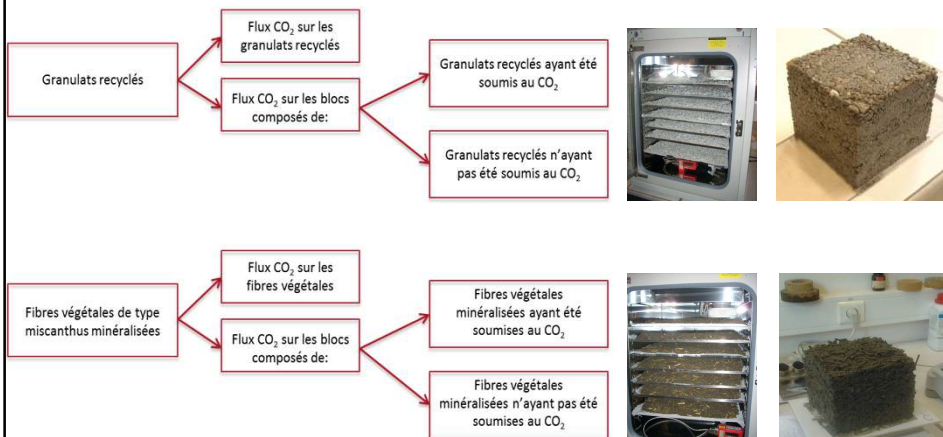
Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Méthodologie expérimentale



Programme de travail

But : Fabrication d'éléments de construction durables, spécifiquement des blocs de construction en béton, obtenus en séquestrant du CO₂.



Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Méthodologie expérimentale



Variables étudiées

1. Résistance à l'abrasion



Essai	Essai Micro-Deval (-)	
	Granulats recyclés	Granulats recyclés carbonatés
1	4.96	5.23
2	4.86	6.11
3	5.12	5.46
Moyenne	4.98	5.60

Une valeur de 5-10 correspond à des granulats de bonne qualité

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Méthodologie expérimentale



Variables étudiées

1. Résistance à l'abrasion
2. Résistance en compression



Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

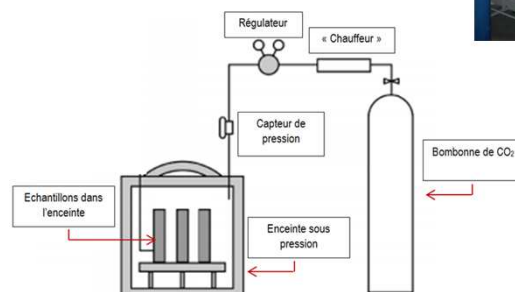
Méthodologie expérimentale



Variables étudiées

1. Résistance à l'abrasion
2. Résistance en compression
3. Quantification de l'absorption de CO₂

Régulation de la température
Régulation de l'humidité relative (Ca(NO₃)₂·4H₂O)
Régulation [CO₂]



Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Méthodologie expérimentale

Variables étudiées

1. Résistance à l'abrasion
2. Résistance en compression
3. Quantification de l'absorption de CO₂

A. Par variation de la masse [Monkman & Shao, 2010]

$$\text{Gain en masse (\%)} = \frac{\text{masse}_{\text{finale}} + \text{masse}_{\text{eau perdue}} - \text{masse}_{\text{initiale}}}{\text{masse}_{\text{liant sec}}} = \frac{\Delta \text{masse CO}_2}{\text{masse}_{\text{liant sec}}}$$

(masse_{eau perdue} = masse_{finale silica gel} + masse_{finale solution saline} - (masse_{initiale silica gel} + masse_{initiale saline solution}))

B. Par analyse thermogravimétrique

Température

Echantillonnage !!

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Résultats & Observations

Effet de la carbonatation sur les granulats

	Granulats recyclés		Granulats de fibres végétales	
	Non carbonatés	Carbonatés	Non carbonatés	Carbonatés
Micro-Deval [-]	4.98	5.60	12.69	7.23

Absorption de CO₂ de 5% pour les fibres végétales de type miscanthus préminéralisées

Les granulats recyclés ne sont pas aussi friables que l'image qu'ils pourraient renvoyer.
Les propriétés des fibres végétales sont influencées par le processus de carbonatation accéléré.

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Résultats & Observations

Effet de la carbonatation sur les blocs de béton à base de :

1. Granulats recyclés

A. Absorption de CO₂
Variation de la masse

Variable	Total
Gain en masse (%)	3.11

Graphique A: Gain en masse (%) vs Racine carrée du temps (Heures). La courbe suit l'équation $y = 1,1581x + 0,0803$.

B. Résistance en compression à 7 heures

Graphique B: Résistance en compression (MPa) à 7 heures. Cure en chambre humide: 1.06 MPa; Cure en incubateur (20% de CO₂): 1.53 MPa.

La carbonatation est présente et synonyme de gain de résistance, à court terme.

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Résultats & Observations

Effet de la carbonatation sur les blocs de béton à base de :

1. Granulats recyclés

A. Absorption de CO₂
Variation de la masse

Variable	Incubateur (20% de CO ₂)	Incubateur (0% de CO ₂)
Gain en masse (%)	3.00	-1.88

Graphique A: Augmentation de la masse du bloc (g) vs Temps (Heures). Les cubes 1-3 (0% CO₂) et 4-6 (20% CO₂) montrent une augmentation de masse, tandis que les cubes 7-9 (chambre humide) montrent une diminution.

Cube 1, 2, 3 : Cure à 0% de CO₂ en Incubateur

Cube 4, 5, 6 : Cure à 20% de CO₂ en Incubateur

Cube 7, 8, 9 : Cure en chambre humide

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Résultats & Observations

Effet de la carbonatation sur les blocs de béton à base de :

1. Granulats recyclés

A. Absorption de CO₂
Analyse thermogravimétrique

Profondeur du bloc (cm)	Absorption de CO ₂ (%)
0	~6,50%
4	~4,80%
8	~1,20%

La mesure par variation de la masse constitue une belle approche de quantification d'absorption de CO₂.

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Résultats & Observations

Effet de la carbonatation sur les blocs de béton à base de :

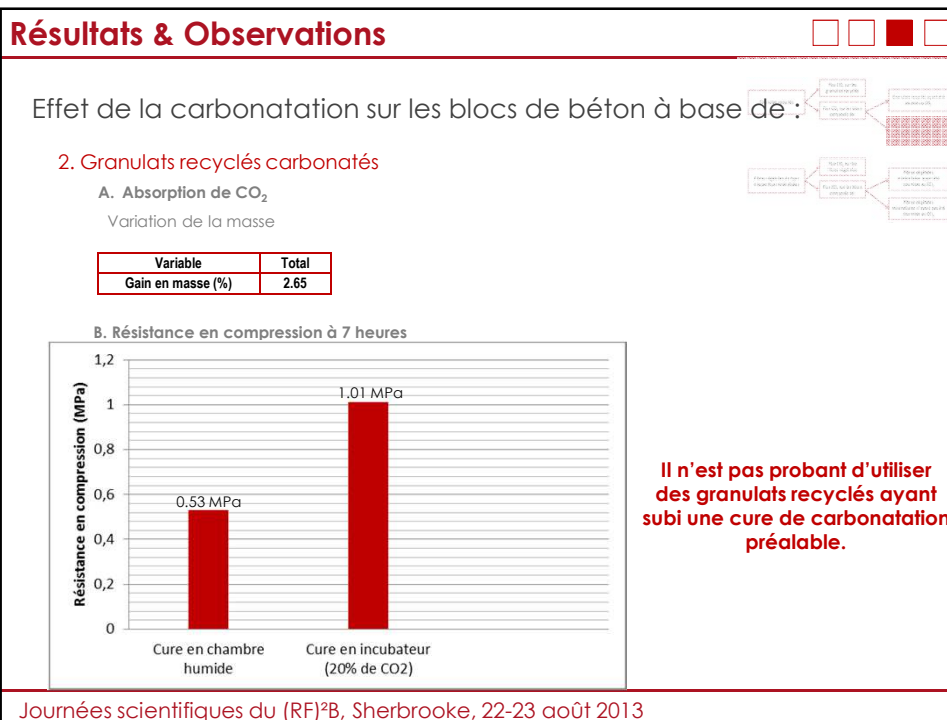
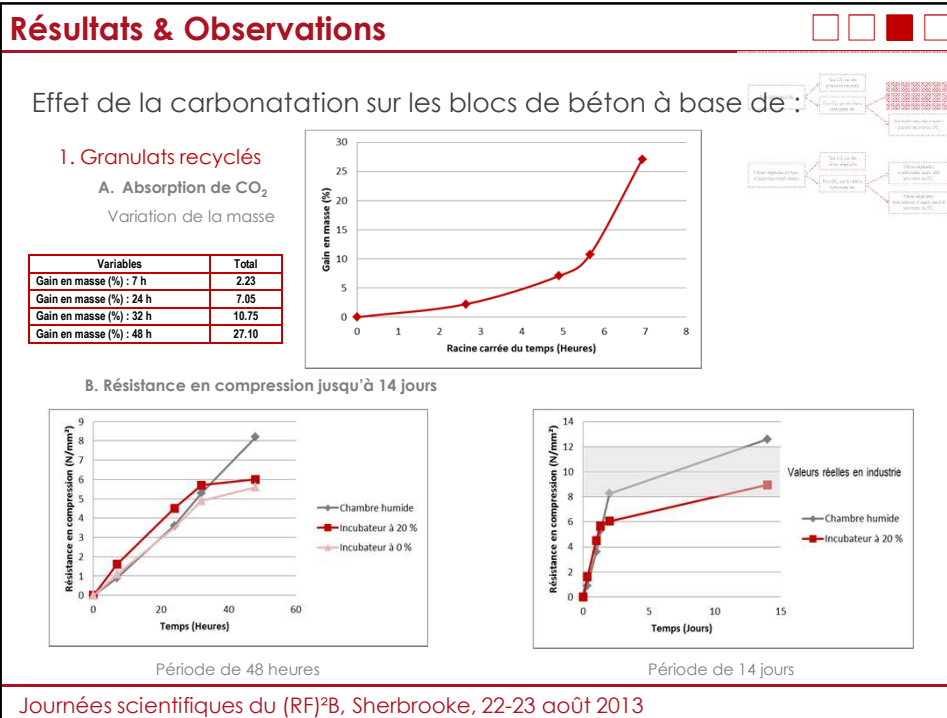
1. Granulats recyclés

B. Résistance en compression à 7 heures

Cure en	Résistance en compression (MPa)
chambre humide	1.09 MPa
incubateur (20 % de CO ₂)	1.53 MPa
incubateur (0 % de CO ₂)	1.17 MPa

La carbonatation accélérée est synonyme de gain de résistance, à court terme. A long terme ?

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013



Résultats & Observations

Effet de la carbonatation sur les blocs de béton à base de :

3. Fibres végétales minéralisées

A. Absorption de CO₂
Variation de la masse

Variable	Fibres végétales minéralisées	
	Non carbonatées	Carbonatées
Gain en masse (%)	1.33	1.34

B. Résistance en compression à 7 heures

Amélioration significative de résistance en compression entre les deux types de cure.

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Résultats & Observations

Evaluation préliminaire de l'impact environnemental

Potentiel de réchauffement global (PRG)

Bloc de béton à base de granulats recyclés

Cure en chambre humide

Cure en incubateur

Cure en incubateur vs Cure en chambre humide

Ciment : Actionnaire majoritaire du taux de CO₂ rejeté → Ce n'est pas le type de granulat qui peut modifier le potentiel de réchauffement global.
PRG amélioré par la fixation du CO₂ dans les blocs de béton.

Journées scientifiques du (RF)²B, Sherbrooke, 22-23 août 2013

Conclusions & Perspectives



- ❑ Capturer du CO₂ dans les bétons à base de granulats recyclés se révèle être une bonne alternative pour l'environnement et, plus précisément, dans la lutte contre le réchauffement climatique.
- ❑ Pour 7 heures de cure, la résistance en compression des blocs de béton subissant une cure en incubateur est plus importante que celle des blocs de béton subissant une cure en chambre humide.
- ❑ Au terme de 48 heures, la tendance s'inverse entre les deux types de cure mais la résistance des blocs de béton ayant subi une cure de carbonatation accélérée est toujours acceptable au terme de 14 jours.

Perspective : Fixer le CO₂ en couplant les deux types de cure.

Travail de fin d'études - Parmentier Véronique



Merci de votre attention



Mémorial de l'Holocauste, Berlin