Balle de riz

Utilisée pour réaliser des bétons isolants

Liant chaux-ciment-plâtre

POUR INFORMA

Pierre DELOT - 31 juillet 2015

Révision

Auteur	Date	Révision
Pierre DELOT	Mai 2014	Première version

Contact

Pierre Delot
06 25 05 81 04
pierre.delot@hotmail.fr
www.associationlevillage.fr
www.lechampdesartisans.fr
www.balledriz.fr

POUR INFORMATION

Sommaire

Mélange « Balle de riz – ciment » 5

Prétraitements de la balle de riz 5

Essais réalisés sans prétraitement 5
Prétraitement par trempage dans l'eau 6
Prétraitement par trempage (eau, solution acide, solution basique) 7

Efficacité du prétraitement 8
Efficacité de l'accélérateur de prise 9
Efficacité de la quantité d'eau 9
Influence de la présence de la balle de riz 9

Prétraitement à la chaux 9

Essais « Bizotto » 9
Essais Serrano-Castro 9

Mélange « Balle de riz – chaux - chènevotte » 12

A l'étranger 12

Briques 12

Essais réalisés en Malaisie 12

Process de fabrication 12
Résultats 12

Dalles 13

Formulation de dosages 14

Dosages « chaux - chènevotte » 14
Dosages « chaux - balle de riz - chènevotte » 15

CESA Batichanvre 15

Essais de dosage en eau 15
Dosage en eau préconisés et MVA 17
Essais sur éprouvettes cylindriques standardisées 18

BCB Tradical PF70M 21
Comparaison Batichanvre - PF70M 24
Vicat ciment prompt naturel 31
Akta liant 31
Lafarge Nathural 31

Temps de séchage 31
Conductivité thermique 31
Résistance à la compression 33

Mélange « Balle de riz – chaux - paille » 34

Liant hydrauliques formulés « Construire en Chanvre » + paille de riz 34

Paille de riz broyée 34
Bétons faits à la bétonnière 34
Effet de l'introduction de la paille broyée 34

Béton banché « b2r - paille broyée » 37

Liant « Chaux aérienne - plâtre » 37

POUR INFORMATION

Béton banché b2r-chènevotte-chaux..... 39

POUR INFORMATION

Mélange « Balle de riz – ciment »

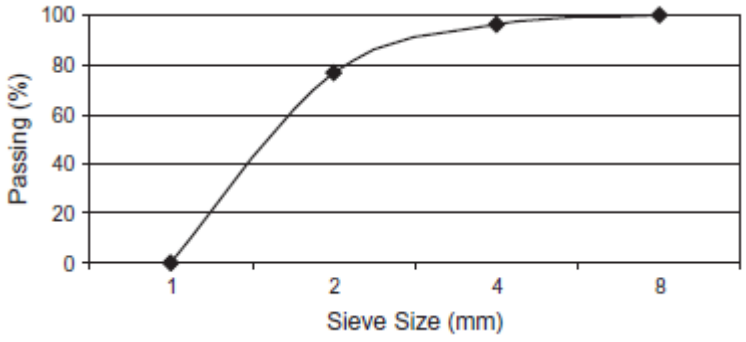
Les études disponibles sur internet sur les bétons utilisant la balle de riz comme granulat en complément du sable ne s'intéressent pas aux bétons isolants, pour lesquels les masses volumiques doivent être inférieures à (ordre de grandeur) 800 kg/m^3.

Prétraitements de la balle de riz

La balle de riz contient des composants organiques qui sont soluble dans l'eau, dont des sucres. Ces sucres peuvent empêcher la prise correcte du ciment. Lien.
La balle de riz brute ne peut pas être utilisée telle quelle comme granulats de substitution du sable dans les bétons au ciment. Un prétraitement de la balle doit être réalisé pour rendre la balle de riz compatible du ciment. Une fois ce prétraitement réalisé, on peut réaliser des bétons de ciment allégés ou des briques allégées. Lien.
La balle de riz étant un élément organique, elle interfère négativement durant la prise du ciment, ce qui empêche l'agglomération des balles par le ciment. Pour l'utiliser comme granulat pour béton et contrer l'effet des acides organiques, on doit au préalable faire immerger la balle de riz dans un mélange eau-chaux (5%), pendant 24 heures. Lien.

Essais réalisés sans prétraitement

Les informations présentées dans ce paragraphe sont tirées de l'étude suivante : «Influence of raw rice husk addition on structure and properties of concrete».
Le béton a été produit à partir de ciment Portland (CEM I 42.5 R), de balle de riz et de différents types d'agrégats : W1 (calcaire broyé grossièrement), W2 (pierre broyée), W3 (sable de rivière).
Certaines caractéristiques de la balle de riz ont été mesurées : 122 kg/m3, taux d'humidité 8%, absorption d'eau par immersion 100%, température de combustion 350°C.
La répartition granulométrique de la balle de riz est la suivante :



Série	Balle de riz (% masse ciment)	Ratio Eau/ciment	Masse vol. Béton frais (kg/m3)	Proportion d'air Béton frais (%)	Volume des pores Béton sec (mm3)
1	0	0.6	2430	4.8	3360
2	1.5	0.58	2340	5	4395
3	3	0.57	2260	6.2	4660
4	5	0.55	2105	8.5	4705

POUR INFORMATION

Après démoulage, les échantillons ont été immergés dans une solution d'eau saturée en chaux pendant 27 jours. Même si la gamme de températures testée dans l'expérience est centrée sur les hautes températures, des mesures ont été effectuées à 25°C. La résistance à la diffusion de la vapeur d'eau (disques 100mm*40mm), la résistance à la compression (cubes 150 mm) et la conductivité thermique (panneau 300mm*300mm*40mm) ont été mesurée à 25°C.

Série	Coeff. résist. diffusion vapeur d'eau	Résistance à la compression (MPa)	Conductivité thermique (W/m.K)
1	41	27.2	1.88
2	32	26.2	1.85
3	21	22.8	1.80
4	18	20.5	1.68

Prétraitement par trempage dans l'eau

Les informations présentées dans ce paragraphe sont tirées de l'étude suivante : Lien
Différents panneaux compressés à base de balle de riz (*Oryza sativa*,L.) et de ciment Portland ont été réalisés pour évaluer leurs caractéristiques.
Un accélérateur de prise (Chlorure de calcium, CaCl2) a été ajouté au mortier dans une proportion de 2% du poids total. La balle de riz a été immergée 24 heures dans l'eau froide avant la fabrication du panneau. 3 dosages balle de riz-ciment Portland ont été testés.

	Balle de riz	Ciment Portland	eau
Essai 1	1	2.75	1.38
Essai 2	1	3	1.5
Essai 3	1	3.25	1.63

Les étapes de fabrication des panneaux sont les suivantes :

- Préparation des matériaux, mélange
- Formation d'une plaque de mortier (30 cm x 30 cm x 1 cm) a la densité désirée (1200 kg/m³)
- Pressage (35 kgf/cm²) puis stabilisation à 60ºC pendant 24 heures
- Durcissement (à la température de la pièce pendant 2 semaines)
- Séchage (80ºC pendant 10 heures)
- Conditionnement (2 semaines)

Les résultats de mesures montrent que l'augmentation de la proportion de ciment ne modifie qu'assez peu les caractéristiques des panneaux. Toutes les caractéristiques mesurées ne rentrent pas dans les normes que doivent respecter ce type de panneaux.

	min	max
Taux d'humidité (%)	8.01	9.33
Masse volumique (kg/m3)	1150	1260
Module d'élasticité (kgf/cm²)	14324	22488
Module de rupture (kgf/cm²)	22,99	29,63
Arrachement (kgf)	19.75	23.39
Immersion 2 heures		
Gonflement (%)	0.12	0.35

POUR INFORMATION

Allongement (%)	0.21	0.32
Absorption d'eau (%)	20.98	24.78
Immersion 24 heures		
Gonflement (%)	0.32	0.51
Allongement (%)	0.29	0.33
Absorption d'eau (%)	24.89	28.14

Caractéristiques des panneaux produits

Prétraitement par trempage (eau, solution acide, solution basique)

Les informations présentées dans ce paragraphe sont tirées de l'étude suivante : « Morteros aligerados con cascarilla de arroz : diseno de mezclas y evaluacion de propiedades »

La balle de riz contient des composants organiques qui sont soluble dans l'eau, dont des sucres. Ces sucres peuvent empêcher la prise correcte du ciment.

Pour réduire l'effet des sucres solubles, on procède à un pré-traitement de la balle de riz. Le lavage à l'eau (distillée) est inefficace. La décantation dans une solution acide est très peu efficace, alors qu'une décantation basique permet de décomposer partiellement la partie organique de la balle et permet de libérer les sucres. Les sucres solubles sont ensuite évacués de la balle de riz par lavage.

Les efficacités de plusieurs types de prétraitements ont été comparés, sur des critères de résistances mécaniques du béton réalisé :

- Aucun prétraitement
- Lavage à l'eau. Essorage. Passage en étuve pendant 24 heures, à 105°C.
- Mélange acide (noté « A ») : 20 ml HNO3 + 980 ml eau distillée + 100 g de balle de riz placé 24 heures sous agitation mécanique. Lavage et décantation avec 1 litre d'eau distillée. Essorage. Passage en étuve pendant 24 heures, à 105°C.
- Mélange basique (noté « B » : 100 ml NaOH + 900 ml eau distillée + 100 g de balle de riz placé 24 heures sous agitation mécanique. Lavage et décantation avec 1 litre d'eau distillée. Essorage. Passage en étuve pendant 24 heures, à 105°C.

Un tensioactif (Genapol PF 80 : polymère bloc OE-OP, 80% EO) a été rajouté dans tous les mortiers, dans une proportion de 1% par rapport au ciment.

Un accélérateur de prise a été rajouté dans certains mortiers pour évaluer son effet.

Les échantillons de mortier réalisés ont pour format 4x4x16 cm. Une fois les mortiers préparés et versés dans les moules, passés sur une table de compactage, ils ont été déposés dans une chambre de durcissement (20 ± 1 ° C et 100% d'humidité relative). Le démoulage s'est effectué après 24 heures.

Le dosage de la quantité d'eau nécessaire a été fait en fonction de la quantité d'eau absorbée par la balle de riz (prétraitée séchée) et de la nécessité d'obtenir une plasticité du mortier pour pouvoir le mouler.

Une partie des échantillons n'ont jamais fait leur prise. La raison à cela est à trouver dans l'inefficacité du prétraitement à l'eau et à la solution acide, même en ajoutant un accélérateur de prise au mortier. Si toute la balle de riz utilisée pour la réalisation du mortier n'a pas subi de prétraitement basique, la prise ne se fait pas (M19).

N° mélange	Prétrait.	Ciment (g)	Eau (g)	Granulats fins (g)	Balle de riz (g)	CaCl2 (g)
M1	Eau	100	145	150	150	Sans
M2	Eau	100	87	150	75	Sans

M3	Eau	100	87	150	37.5	Sans
M4	Eau	100	75.1	150	37.5	Sans
M5	Eau	100	60	150	37.5	Sans
M6	A24h	100	76	150	37.5	Sans
M10	A24h	100	76	150	37.5	1
M14	A24h	100	60	150	37.5	Sans
M15	A24h	100	50.6	150	37.5	Sans
M19*	A24h (50%) B24h (50%)	100	60	150	37.5	3

Dosage des mortiers à base de balle de riz + ciment n'ayant jamais fait leur prise

Les échantillons ayant fait leur prise ont été prétraités avec la solution basique. Les résultats annoncés sont la moyenne calculée sur plusieurs essais :

- Résistance à la flexion : 3 essais de flexion à 3 points (sensibilité de la presse 2 kg)
- Résistance à la compression : 6 essais (sensibilité de la presse 10 kg).
- Densité : 3 échantillons, chacun calculé comme étant la masse (g) de l'échantillon de celle-ci, divisé par le volume (256 cm3)

N° mélange	Prétrait.	Ciment (g)	Eau (g)	Granulats fins (g)	Balle de riz (g)	CaCl2 (g)	Masse vol (Kg/m3)	Résist. Flexion (MPa)	Résist. Compr (MPa)
M7	B24h	100	76	150	37.5	Sans	960	<0.2	0.87
M8	A24h puis B24h	100	76	150	37.5	Sans	1140	0.83	1.81
M9	A24h puis B24h	100	76	150	37.5	1	1060	0.81	1.99
M11	B24h	100	76	150	37.5	1	970	0.73	1.13
M12	B24h	100	76	150	37.5	2	960	0.70	1.38
M13	B24h	100	76	150	37.5	3	950	0.67	1.50
M16	B72h	100	76	150	37.5	Sans	1020	0.73	1.56
M17	B72h	100	60	150	37.5	3	970	0.73	1.37
M18	A72h puis B24h	100	53.2	150	37.5	3	970	0.73	1.29
M20	**Sans**	**100**	**40**	**150**	**0**	**3**	**1280**	**2.24**	**5.37**
M21	B24h	100	50	150	33.3	3	970	0.71	1.29
M22	B24h	100	40	150	25	3	1140	1.37	2.64
M23	B24h	100	48.2	150	25	3	1140	1.40	2.60
M24	B24h	100	44	150	25	3	1210	1.85	4.13
M25*	B24h	100	40	150	25	3	1280	1.18	2.03

Dosage des mortiers à base de balle de riz – ciment (M25* : dosage B deux fois plus concentré)

Efficacité du prétraitement

Un prétraitement en 2 étapes (acide, puis basique) augmente la résistance à la compression et la masse volumique de l'échantillon (M7, M8, M9), par rapport à un prétraitement basique seul.

L'augmentation de la durée du prétraitement basique fait grimper la résistance à la compression (M7 vs M16), mais reste moins efficace qu'un traitement en 2 étapes (acide, puis basique).

Une augmentation de la concentration de la solution basique ne conduit pas forcément à une augmentation de la résistance (M22, M25). C'est même l'inverse qui s'est produit ici.

Efficacité de l'accélérateur de prise

La résistance à la compression augmente avec l'ajout d'accélérateur de prise (M7, M11, M12, M13).

Efficacité de la quantité d'eau

L'excès d'eau réduit beaucoup la résistance des échantillons (M22, M23, M24). Il est probable que ca provienne en partie du mauvais compactage du mortier (l'eau est incompressible).

Influence de la présence de la balle de riz

En comparant le mélange M20 au mélange M22, on peut voir l'influence de l'ajout de balle de riz prétraitée dans le mortier sur les caractéristiques mécaniques. L'adhérence du mortier sur la balle prétraitée n'est pas suffisamment bonne pour maintenir les résistances à la compression et à la flexion. L'effet d'aération du mortier (au travers de la balle de riz) affecte négativement la résistance mécanique.

Prétraitement à la chaux

Essais « Bizotto »

Ce qui est dit dans ce paragraphe est issu de l'étude suivante : « *Mini hormigones con cascarilla de arroz natural y tratada …* ». Lien. Pour utiliser la balle de riz comme granulat pour béton et contrer l'effet des acides organiques, la balle de riz a été immergée dans un mélange eau-chaux (5%), pendant 24 heures. Suite à ca, la balle de riz a été laissée à sécher avant de l'utiliser comme granulat.

Des cylindres de 15 cm de diamètre et de 30 cm de haut (norme IRAM n°1546) ont été réalisés à partir de différentes proportions sable-balle de riz-ciment. Ces cylindres ont été mis en cure pendant 28 jours et ont subi une mesure de résistance à la compression.

N° cylindre	Sable siliceux (kg)	Balle de riz (kg)	Ciment Portland (kg)	Eau (kg)	Résistance à la compression 28 j (MPa)	Masse volumique 28j (kg/m3)
T0	1685	0	351	253	13.4	1992
T1	1348	94	351	253	8.36	1800
T2	1011	189	351	253	6.81	1688
T3	674	283	351	253	4.58	1532
T4	337	377	351	253	0.43	688

Essais Serrano-Castro

Ce qui est dit dans ce paragraphe est issu de l'étude suivante : « materiales de construccion con propiedades aislantes a base de cascara de arroz ». Lien.

Trois mélanges « balle de riz brute + ciment PA-350 (pouzzolanique) + eau » ont été testés avec différentes proportions. La plus résistante en compression à 28 jours (« P ») avait pour dosage :

- ✓ En masse : 65.38% (ciment P350), 34.62% (balle de riz).
- ✓ En volume : 14.73% (ciment P350), 85.27% (balle de riz).

La proportion d'eau utilisée pour toute la première série de mélanges était de 75% du poids de ciment. Visiblement, aucun accélérateur de prise n'a été utilisé.

Des efflorescences sont apparues sur les échantillons de mortiers.
Le mélange « P » a servi de référence et d'autres échantillons ont été préparés

- ✓ Avec d'autres proportions eau-ciment
- ✓ En utilisant de la balle de riz prétraitée à la chaux (immersion dans une solution à 5% de chaux - en masse- pendant 24 heures)

L'échantillon le plus résistant (« L ») utilisait de la balle prétraitée et un peu plus de ciment (+ 10% par rapport à la quantité de ciment utilisée pour le mélange « P »).
Les efflorescences n'apparaissent plus lorsque la balle de riz est prétraitée à la chaux. Les résistances en compression sont largement augmentées grâce au prétraitement à la chaux. Les proportions eau-ciment influencent beaucoup la résistance des échantillons, même avec le prétraitement.
La conductivité thermique du panneau isolant « L » a été mesurée et était de 0.123 W/m.K. Les dimensions du panneau réalisé étaient de 60 cm*90 cm* 6 cm d'épaisseur. La masse volumique du panneau était de l'ordre de 550 kg/m3.

POUR INFORMATION

POUR INFORMATION

Mélange « Balle de riz – chaux - chènevotte »

A l'étranger

Briques

Essais réalisés en Malaisie

Une seule source d'information concernant la fabrication de briques à partir de balle de riz a été trouvée sur internet. Lien. Les résultats présentés ci-dessous sont issus de cette source (publié en 2013).

Les études réalisées sur des dalles peuvent servir à compléter cette étude.

Les proportions présentées ici ne sont certainement pas optimales. Un bloc béton classique comporte 7% de ciment (masse sèche). Les proportions (en masse sèche) de chaux utilisées ici sont supérieures à 20%.

La stabilisation dans la masse est beaucoup plus consommatrice de liant que l'utilisation de blocs creux remplis de balle en vrac. Ces deux solutions mériteraient d'être compares du point de vue énergie grise.

Process de fabrication

- ✓ Mesurer les proportions, enlever les graviers
- ✓ Malaxer à sec des ingrédients
- ✓ Ajouter progressivement de l'eau et malaxer jusqu'à pouvoir compacter une boule à la main
- ✓ Mettre un plastique au fond du moule
- ✓ Charger le mélange dans le moule de la presse « CETA Ram » par couches pré comprimées une par une à la main ou avec une pièce de bois.

Process de fabrication

- ✓ Fermer le moule et presser jusqu'à mi-course
- ✓ Ouvrir le moule et sortir la brique en une fois

Résultats

POUR INFORMATION

Le premier essai (essai 7) n'a pas été concluant (formage difficile, difficilement comprimable, résultat médiocre). Cet essai a été complété par un deuxième essai (essai 8) qui s'est avéré concluant. La proportion de balle de riz a été diminuée (57% => 40% en volume) et celles de sable augmentées (15 => 27% en volume). Le formage et le compactage de la brique s'est fait facilement, en comprimant en plusieurs fois, par couches. La brique obtenue était solide, conservait sa forme, excepté à la surface ou la couche avait tendance à feuilleter (hypothèse : La dernière couche était plus épaisse que les précédentes).

	Essai 7		Essai 8	
	volume	% (volume)	volume	% (volume)
Chaux hydraulique	3	21	2.5	33
Ciment Portland	0+1	7	0	0
Sable fin	1.5	11	1.5	20
Sable grossier	0.5	4	0.5	7
Balle de riz	8	57	3	40
Eau	2.2		1.5	

Brique obtenue lors de l'essai 7

Brique obtenue lors de l'essai 8

Dalles

En Espagne, une dalle isolante « chaux éteinte – sable – balle de riz » a été réalisée en 2011 dans le cadre d'une autoconstruction. Lien.

POUR INFORMATION

Mise en œuvre sur le chantier

Zoom sur le mélange utilisé

Formulation de dosages

Sur la base des dosages et des chaux utilisés dans les bétons « chaux-chènevotte » en France, des échantillons de bétons « chaux-chènevotte-balle de riz » ont été fabriqués, en déterminant pour chaque dosage la proportion d'eau à ajouter.
La chènevotte utilisée provient des chanvrières de l'Aube, à destination de la litière animale (ProMulch).

Dosages « chaux - chènevotte »

Chaque fabricant de chaux préconise l'utilisation d'une chènevotte particulière. Seuls ces couples sont validés par les règles professionnelles éditées par Construire en chanvre.

Usage	Type chaux	Dosage liant / chènevotte	Dosage estimation	MVA obtenue

		(kg/m^3)	(kg/kg)	(kg/m^3)
Enduits	CESA Batichanvre	500	4.5	900
Enduits	CESA Tradeco	500	4.5	800 - 1000
Enduits	Tradical PF80M	825	7.5	935
Murs	CESA Batichanvre	250	2.3	350 - 420
Murs	CESA Tradeco	500	4.5	
Murs	Tradical PF70	220 - 330	2 - 3	330 - 440
Murs	Vicat Prompt Naturel	250	2.3	
Murs	Akta liant	180	1.6	
Dalles	CESA Batichanvre	250	2.3	350 - 420
Dalles	Tradical PF70	275	2.5	385
Dalles	Vicat ciment prompt naturel	300	2.7	
Dalles	Lafarge Nathural	350	3.2	
Dalles	Akta liant	200	1.8	
Toitures	CESA Batichanvre	125	1.1	150
Toitures	Tradical PF70	110	1	220
Toitures	Vicat prompt naturel	125	1.1	

Selon Morgan Chabannes (thèse), on peut considérer que 90% de l'eau de gâchage sera évaporée avec un liant à base de chaux (type Tradical PF70) pendant la phase de séchage. Ainsi, pour obtenir une densité sèche de 450 kg/m^3, il faut viser à l'état humide une densité voisine de 800 kg/m^3.

Dosages « chaux - balle de riz - chènevotte »

CESA Batichanvre

La chènevotte utilisée est de la LCDA ProMulch pour la litière animale.

Les essais ont été faits en interne au Village de janvier à mars 2015. Les dosages ont été faits avec précaution.

Les masses volumiques apparentes (MVA) données sont des ordres de grandeurs, mesurés au bout d'au moins 2 mois de séchage, avec des échantillons stockés au sec (humidité naturelle).

Essais de dosage en eau

Les essais de dosage en eau sont les premiers essais de béton réalisés. Ils ont pour but de

- ✓ Connaître les quantités à utiliser pour que la chaux enrobe correctement les granulats, sans sédimenter.
- ✓ Savoir si on peut utiliser les mêmes dosages en eau quand on remplace la chènevotte par la balle de riz, où si on peut mettre un peu moins d'eau
- ✓ En réalisant les bétons comme ils pourraient être faits sur chantier :
  - ⇨ Mélange « eau + chaux »
  - ⇨ Ajout des granulats végétaux secs
  - ⇨ Malaxage pendant maximum 1 a 2 minutes. Le malaxage est fait à la main vu la faible quantité de mortier à préparer.

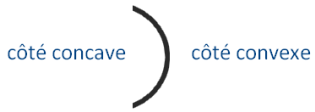
Les essais réalisés par Morgan Chabannes (thèse) l'ont conduit à proposer une modélisation simple de la proportion en eau à utiliser pour les mortiers chaux-chanvre et chaux-balle de riz :

- ⇨ Chaux-balle de riz : 0.5*liant(kg) + 1*balle (kg)
- ⇨ Chaux-chènevotte : 0.5*liant (kg) + 2*chènevotte (kg)

Balle de riz

Résultats :

- ⇨ Utilisée seule sur de petits échantillons, la balle de riz a tendance à reprendre sa place quand on la tasse trop, ce qui ne se produit pas sur des grands échantillons.
- ⇨ La partie intérieure de la balle de riz (partie concave) est mal recouverte par le mortier de chaux à cause de sa forme, surtout sur les mélanges faiblement dosés en chaux. A noter que le malaxage à été fait à la main et pas à la bétonnière.



- ⇨ Les dosages en eau proposés par Morgan Chabannes sont bien retrouvés pour la balle de riz, moins bien pour la chènevotte (trop d'eau ➔ sédimentation)

Dosage liant (kg)	Dosage « chènevotte + b2r » (kg)	Dosage eau « mini » (kg)
1	0 + 1	1.25 trop sec 1.5 OK 1.75 OK
	1/3 + 2/3	1.75 OK Faire 1.5
	2/3 + 1/3	1.75 OK Faire 1.5
	1 + 0	1.5 trop sec 1.75 OK (mais pas plus)
1.25	0 + 1	1.5 OK Faire 1.75
	1/3 + 2/3	Faire 1.75 2 OK
	2/3 + 1/3	Faire 1.75 2 OK
	1 + 0	1.5 trop sec 1.75 OK Faire 2
1.5	0 + 1	1.75 OK Faire 2
	1/3 + 2/3	2.5 trop mouillé 2.25 un peu trop mouillé 1.75 OK
	2/3 + 1/3	2.25 un peu trop mouillé 2 OK 1.75 OK
	1 + 0	1.75 OK Faire 2
1.75	0 + 1	2 trop mouillé 1.75 OK
	1/3 + 2/3	2.5 trop mouillé 2.25 OK (on peut faire 2)

POUR INFORMATION

	2/3 + 1/3	2.5 trop mouillé 2.25 OK (on peut faire 2)
	1 + 0	2 OK
2	0 + 1	2.25 trop mouillé 2 OK Faire 1.75
	1/3 + 2/3	2.5 OK 2.25 OK Faire 2
	2/3 + 1/3	2. 5 trop mouillé 2.25 OK (on peut faire 2)
	1 + 0	2.5 trop mouillé 2.25 OK 2 trop sec

Dosage en eau préconisés et MVA

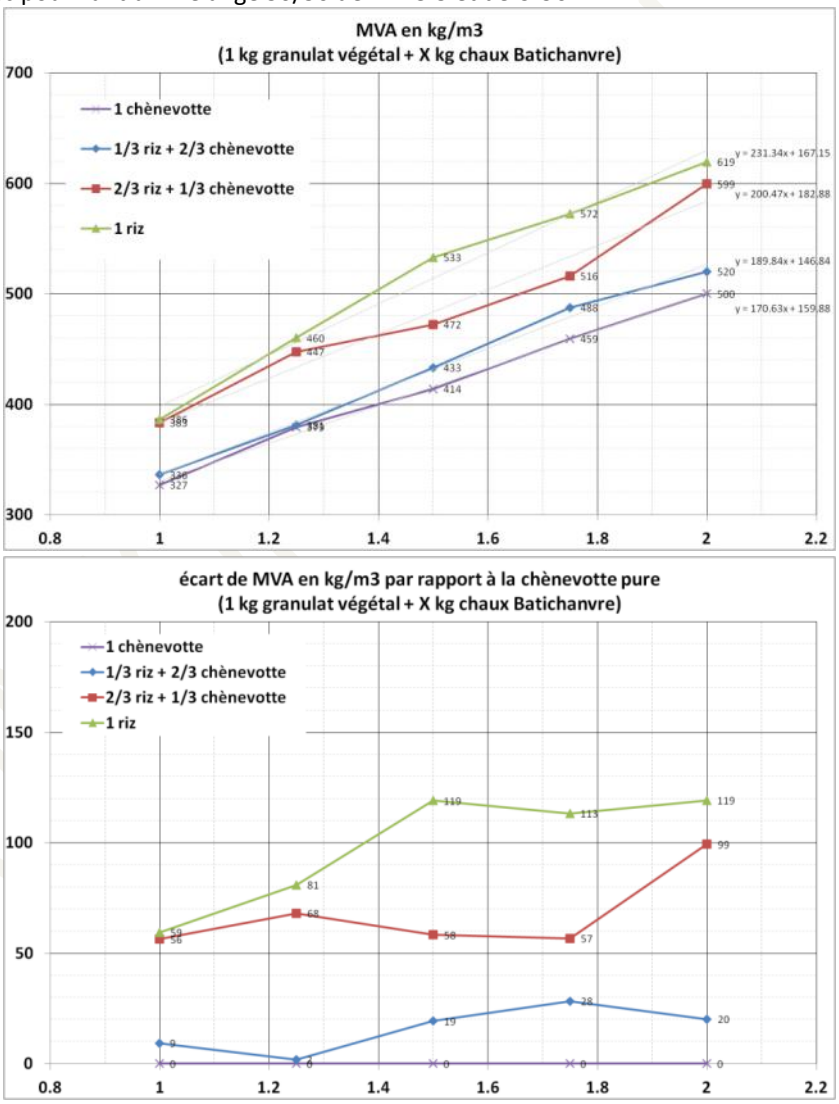
La MVA (masse volumique apparente) augmente avec la proportion de « balle de riz - chènevotte », assez peu pour les faibles dosages, mais plus rapidement au-delà d'un dosage « 1/3-2/3 ».

Les MVA estimées ont été estimées sur la base des éprouvettes « pots de fleurs ». Elles sont moins précises que celles qui seront estimées sur les éprouvettes standardisées (essais en cours). Ces résultats sont donc préliminaires et seront remplacés une fois les nouveaux essais analysés.

			résultats préliminaires ordre de grandeur	
Dosage liant (kg)	Dosage « chènevotte + b2r » (kg)	Dosage eau estimé (kg)	MVA Estimée. hum nat (kg/m^3)	Écart MVA / chènevotte (kg/m^3 et %)
1	0 + 1	≈ 1.5	400	+ 70kg/m3 soit + 18 %
	1/3 + 2/3	≈ 1.75	380	+ 50kg/m3 soit + 13 %
	2/3 + 1/3	≈ 1.75	340	+ 10kg/m3 soit + 3 %
	1 + 0	≈ 1.75	330	-
1.25	0 + 1	≈ 1.5	460	+ 90kg/m3 soit + 20 %
	1/3 + 2/3	≈ 2	430	+ 60kg/m3 soit + 14 %
	2/3 + 1/3	≈ 2	380	+ 10kg/m3 soit + 3 %
	1 + 0	≈ 1.75	370	-
1.5	0 + 1	≈ 1.75	510	+ 90kg/m3 soit + 18 %
	1/3 + 2/3	≈ 2	480	+ 60kg/m3 soit + 13 %
	2/3 + 1/3	≈ 2	430	+ 10kg/m3 soit + 2 %
	1 + 0	≈ 1.75	420	-
1.75	0 + 1	≈ 1.75	570	+ 110kg/m3 soit + 19 %
	1/3 + 2/3	≈ 2 ⇔2.25	530	+ 70kg/m3 soit + 13 %
	2/3 + 1/3	≈ 2⇔2.25	480	+ 20kg/m3 soit + 4 %
	1 + 0	≈ 2	460	-

2	0 + 1	≈ 2	630	+ 130kg/m3 soit + 21 %
	1/3 + 2/3	≈ 2.5	580	+ 80kg/m3 soit + 14 %
	2/3 + 1/3	≈ 2 ⇔2.25	530	+ 30kg/m3 soit + 6 %
	1 + 0	≈ 2.25	500	-

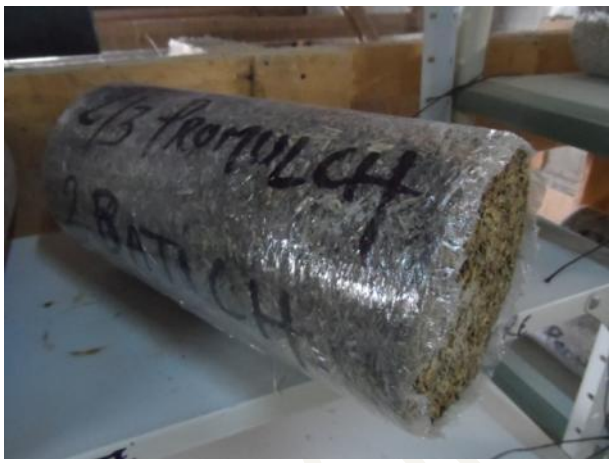
*La densité obtenue par Morgan Chabannes (thèse) est de 509 kg/m^3 après 2 mois de séchage à 20°C/50%HR, avec pour liant un mélange 50/50 de NHL3.5 et de CL90.
**La densité obtenue par Morgan Chabannes (thèse) est de 637 kg/m^3 après 2 mois de séchage à 20°C/50%HR, avec pour liant un mélange 50/50 de NHL3.5 et de CL90.



Augmentation de la densité avec la proportion de balle de riz et de chaux

Essais sur éprouvettes cylindriques standardisées

Les essais précédents ont été prolongés par la fabrication d'éprouvettes standardisées (Φ110 mm - h220 mm et Φ160 mm - h320 mm).



Éprouvette « 1/3 b2r + 2/3 chènevotte + 2 Batichanvre »

Cette méthode est plus rigoureuse que les premiers essais sur le Batichanvre et permet de connaître plus précisément la masse volumique. Ces essais ont permis de commencer à comparer le séchage des bétons en fonction de la proportion de chaux et la composition des granulats (balle et/ou chènevotte).

La phase de séchage est réalisée comme suit :

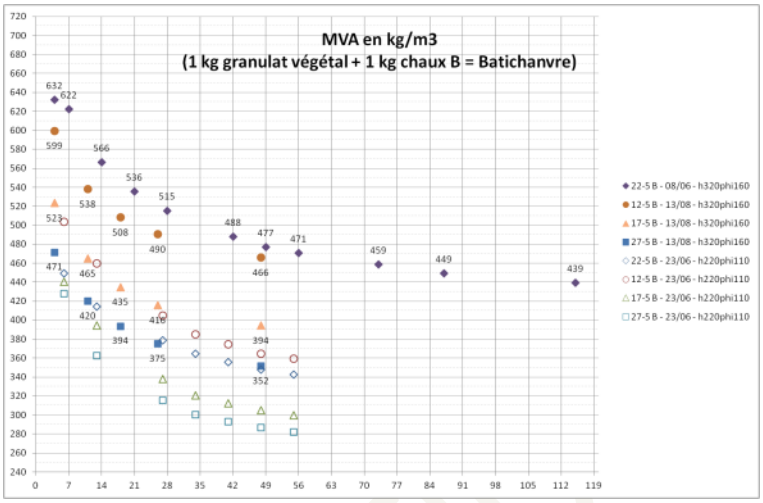
- ✓ Éprouvettes
  - ⇨ Posées debout sur support rigide mobile + film plastique
  - ⇨ Recouvertes d'un film plastique et de placo, sur lequel on pose un surpoids sur l'échantillon afin d'éviter l'aspect élastique des bétons (surtout balle de riz ; surpoids = BTC de 8 kg)
  - ⇨ Pour avoir des extrémités bien planes et parallèles
  - ⇨ Pendant au moins 3 jours (2 jours => trop fragile), souvent plus de 3 jours (organisation/planning)
- ✓ Démoulage des éprouvettes et mise sous cellophane (partie cylindrique uniquement), extrémités à l'air libre
- ✓ Séchage à plat sous hangar. Le séchage ne peut se faire que par les 2 extrémités. Les conditions météo (température/hygrométrie) sous le hangar n'ont pas été mesurées.
- ✓ Pesée régulière pour comparer les temps de séchage (dégager les grandes tendances)
  - ⇨ Les éprouvettes n'ont pas été réalisées en même temps (trop grand nombre de moules à fabriquer).

Il n'y a pas de phénomène de chauffe dans les premiers jours après fabrication comme on pourrait l'observer sur des briques 20/30/60 (taille insuffisante). La prise s'effectue donc dans des conditions un peu différentes d'un cas réel.

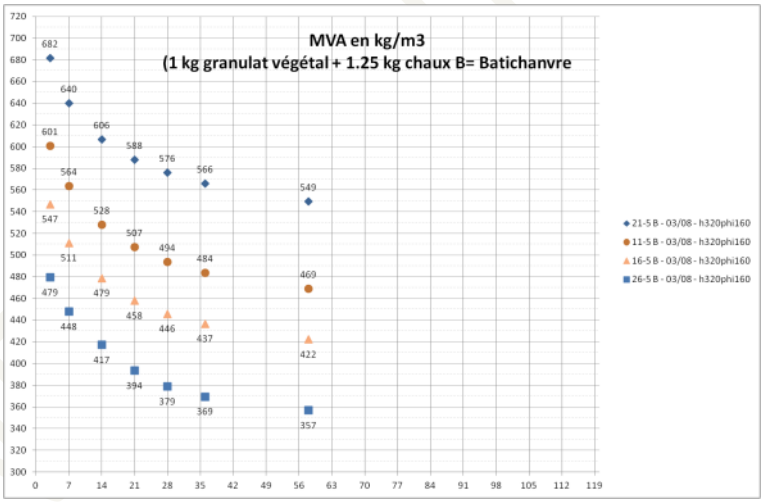
On peut noter un écart conséquent entre les densités obtenues à partir des 2 types d'éprouvettes. La densité de briques 20/30/60 est différente de celle obtenue sur les éprouvettes. C'est elle qui est sans doute la plus proche de la réalité du terrain.

POUR INFORMATION

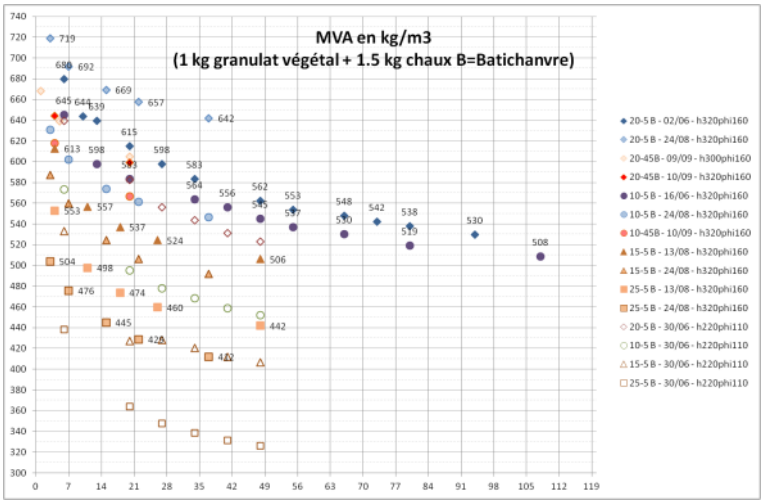
Balle de riz



Éprouvettes 1 kg Batichanvre / 1 kg granulat végétal

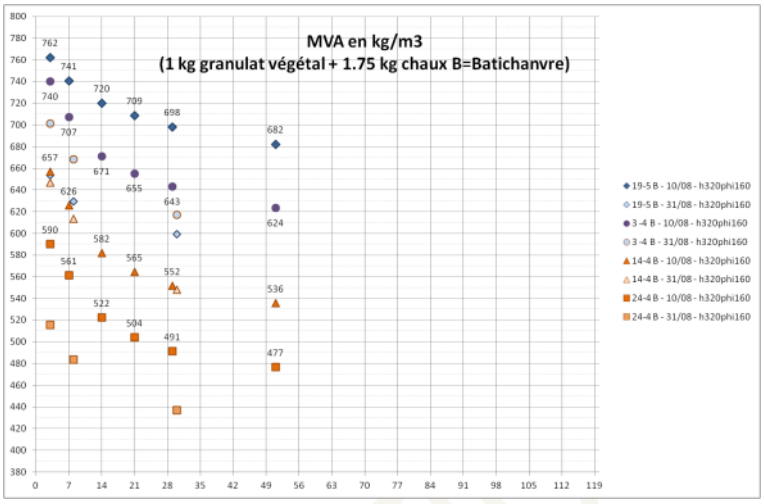


Éprouvettes 1.25 kg Batichanvre / 1 kg granulat végétal

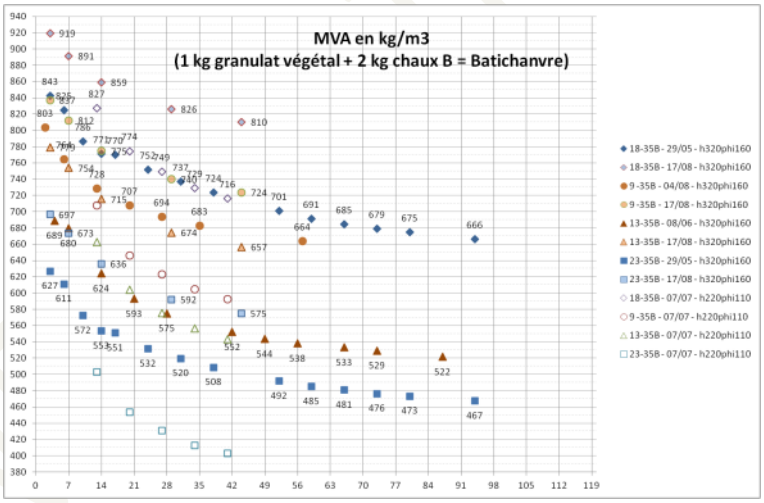


Éprouvettes 1.5 kg Batichanvre / 1 kg granulat végétal

POUR INFO



Éprouvettes 1.75 kg Batichanvre / 1 kg granulat végétal



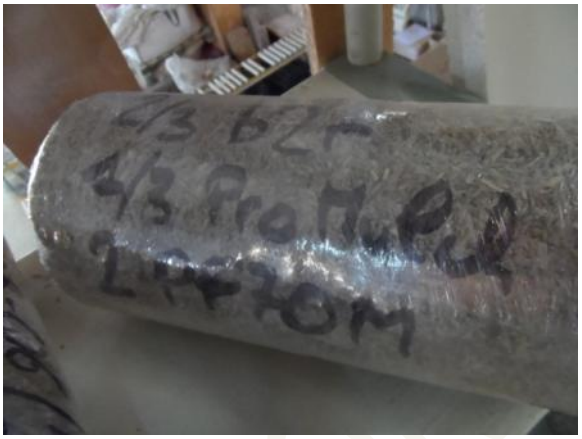
Éprouvettes 2 kg Batichanvre / 1 kg granulat végétal

BCB Tradical PF70M

Aucun essai n'a été fait sur la chaux PF70.

Les bétons faits à partir de PF70M « Thermo » ont été moulés à la main dans des tuyaux PVC modifiés pour aboutir à des éprouvettes cylindriques (Φ110 mm - h220 mm et Φ160 mm - h320 mm).

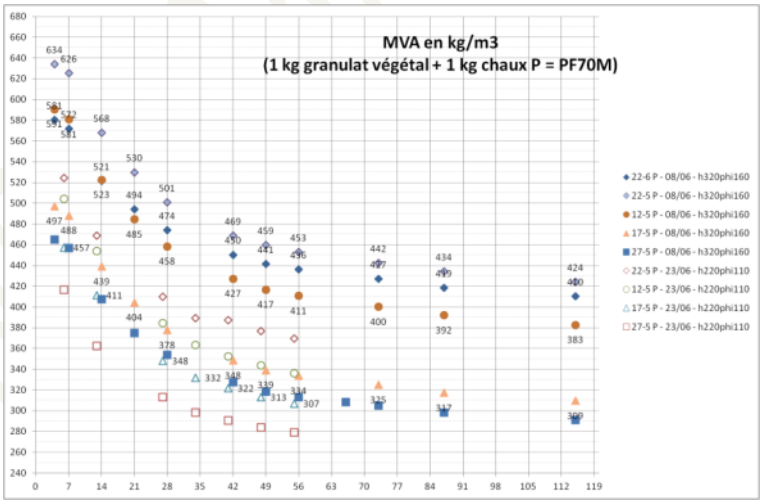
POUR INFO



Éprouvette « 2/3 b2r + 1/3 chènevotte + 2 PF70M »

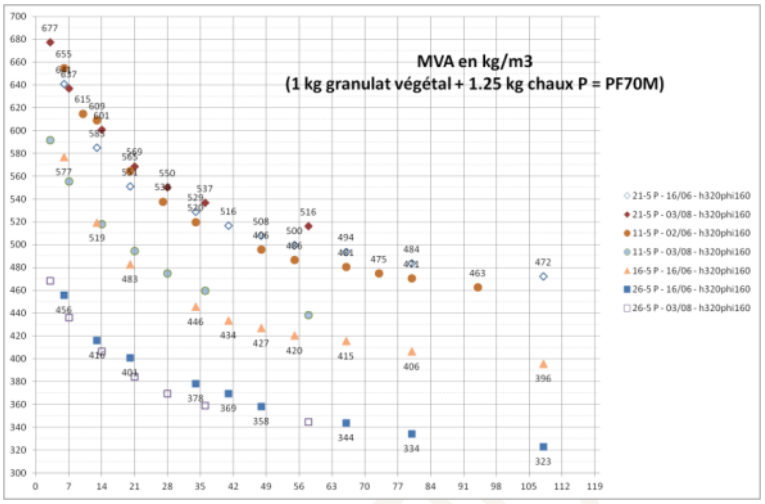
Cette méthode est plus rigoureuse que les premiers essais sur le Batichanvre et permet de connaître plus précisément la masse volumique. Ces essais ont permis de commencer à comparer le séchage des bétons en fonction de la proportion de chaux et la composition des granulats (balle et/ou chènevotte).

Séchage en cours !



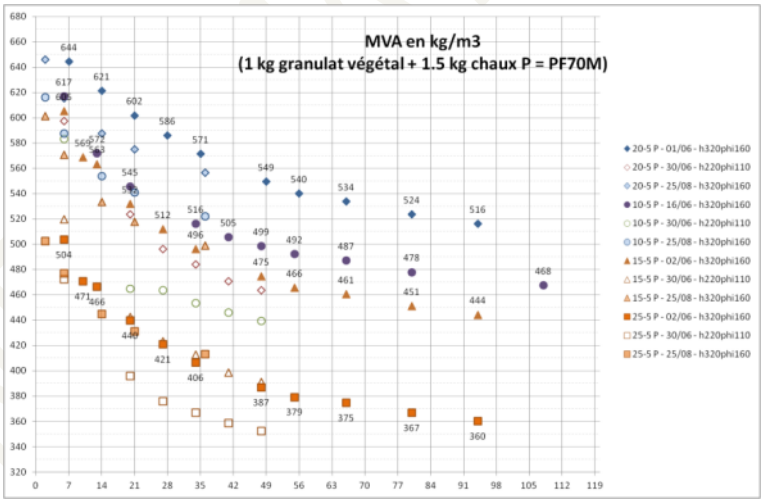
Éprouvettes 1 kg PF70M / 1 kg granulat végétal

POUR INFORMATION



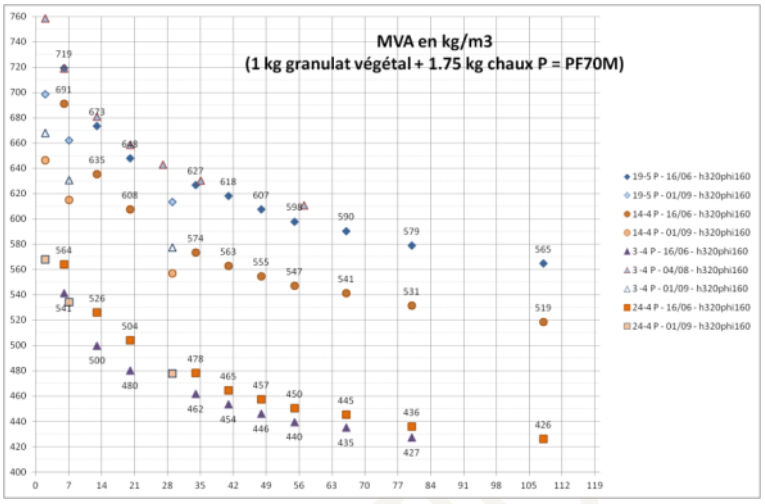
Éprouvettes 1.25 kg PF70M / 1 kg granulat végétal

Doute sur le 11-5Pdu 2/08 => refait



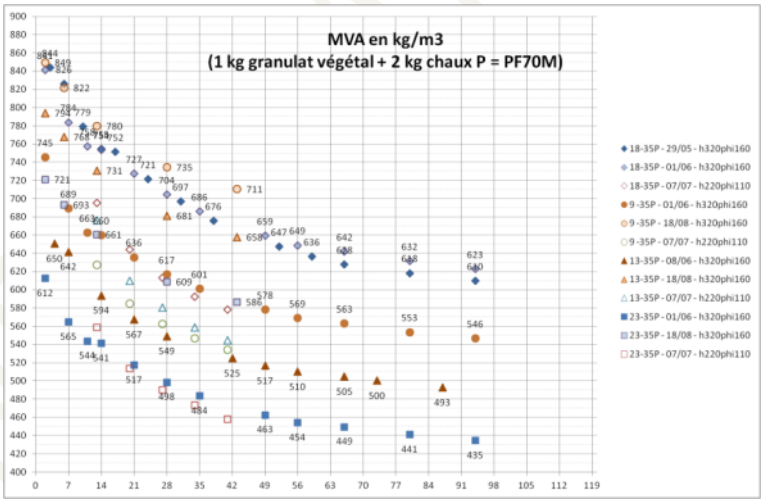
Éprouvettes 1.5 kg PF70M / 1 kg granulat végétal

POUR INFORMATION



Éprouvettes 1.75 kg PF70M / 1 kg granulat végétal

Doutes sur le 3-4P du 04/08 => refait

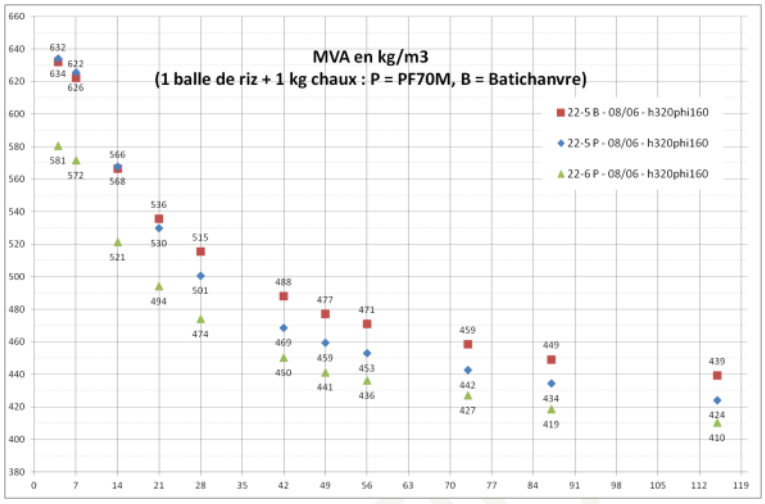


Éprouvettes 2 kg PF70M / 1 kg granulat végétal

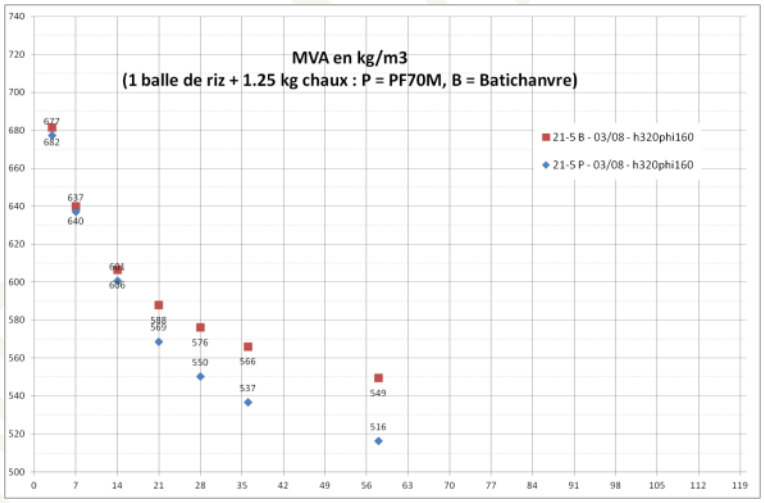
Il n'y a pas de phénomène de chauffe dans les premiers jours après fabrication comme on pourrait l'observer sur des briques 20/30/60 (taille insuffisante).

Comparaison Batichanvre - PF70M

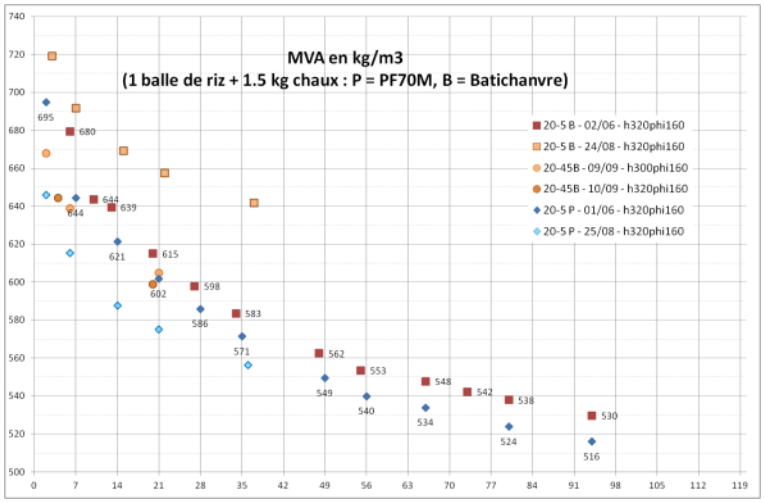
Pas de conclusions hâtives !



Éprouvettes 1 kg chaux / 1 kg granulat végétal (balle de riz)

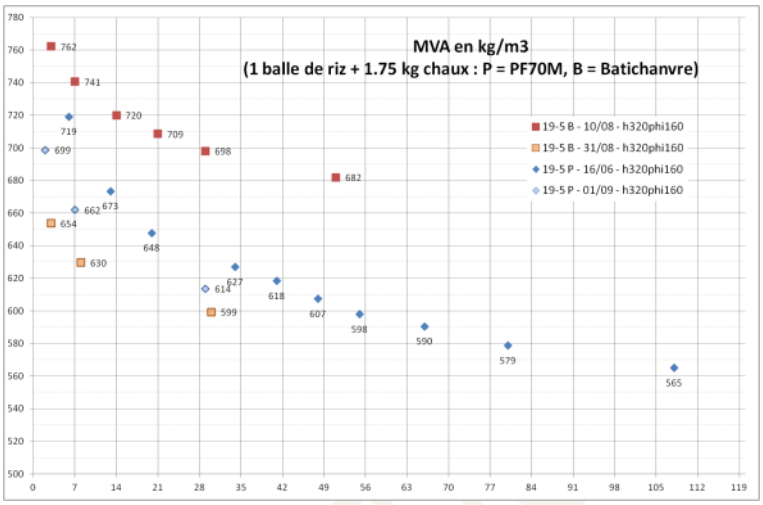


Éprouvettes 1.25 kg chaux / 1 kg granulat végétal (balle de riz)

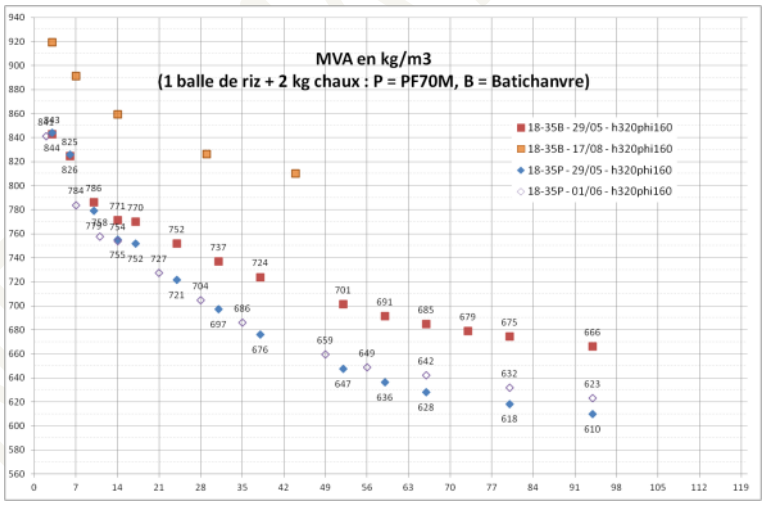


Éprouvettes 1.5 kg chaux / 1 kg granulat végétal (balle de riz)

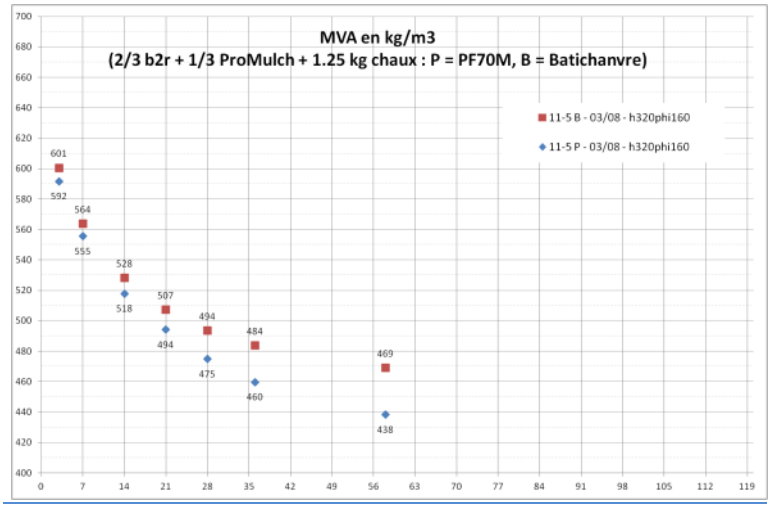
Balle de riz



Éprouvettes 1.75 kg chaux / 1 kg granulat végétal (balle de riz)

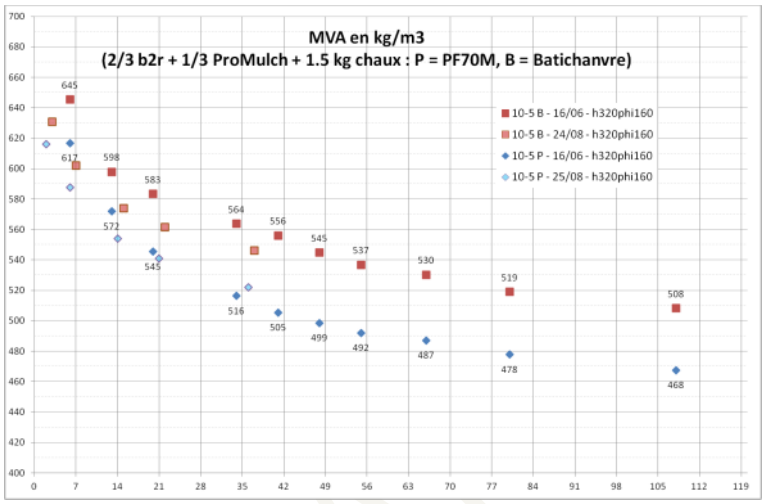


Éprouvettes 2 kg chaux / 1 kg granulat végétal (balle de riz)

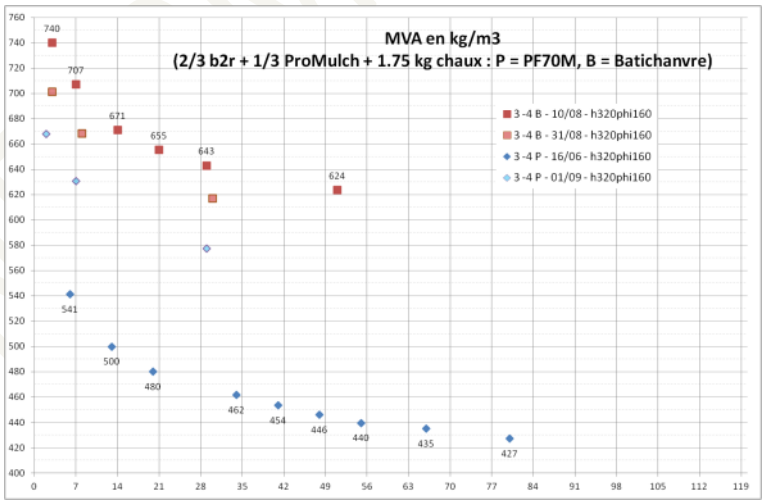


POUR INFORMATION

Éprouvettes 1.25 kg chaux / 1 kg granulat végétal (2/3 balle de riz + 1/3 chènevotte)

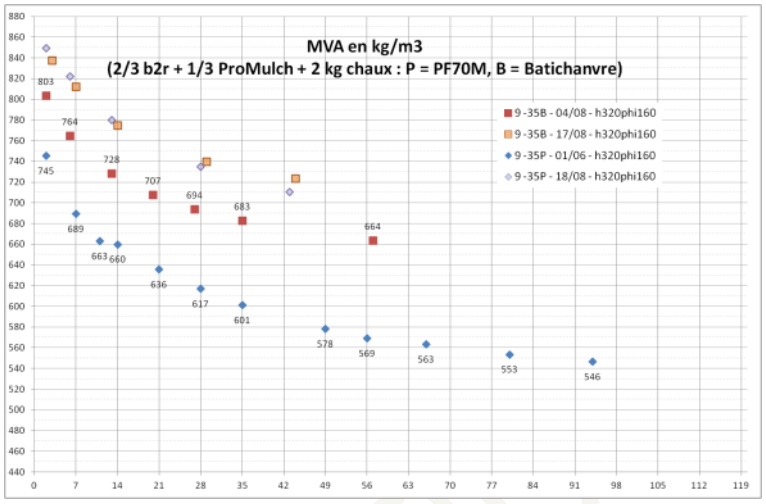


Éprouvettes 1.5 kg chaux / 1 kg granulat végétal (2/3 balle de riz + 1/3 chènevotte)

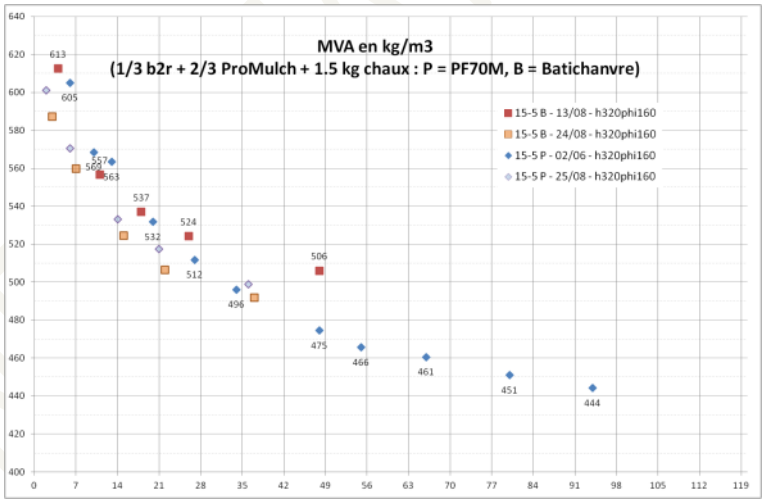


Éprouvettes 1.75 kg chaux / 1 kg granulat végétal (2/3 balle de riz + 1/3 chènevotte)

POUR INFORMATION

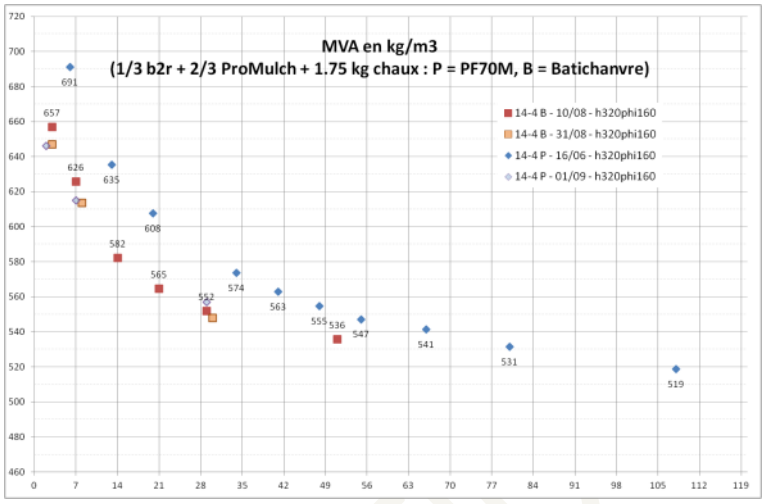


Éprouvettes 2 kg chaux / 1 kg granulat végétal (2/3 balle de riz + 1/3 chènevotte)

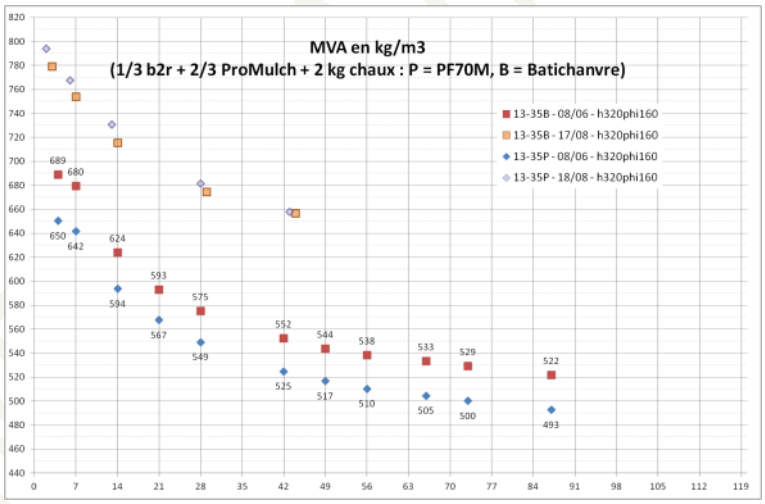


Éprouvettes 1.5 kg chaux / 1 kg granulat végétal (1/3 balle de riz + 2/3 chènevotte)

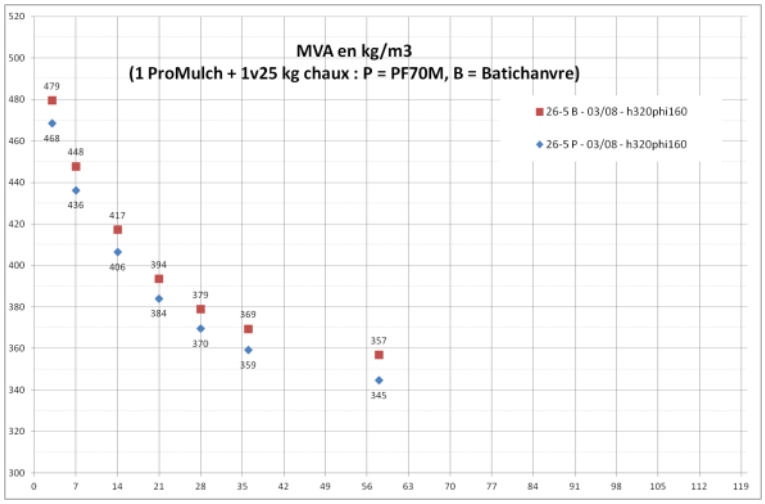
POUR INFORMATION



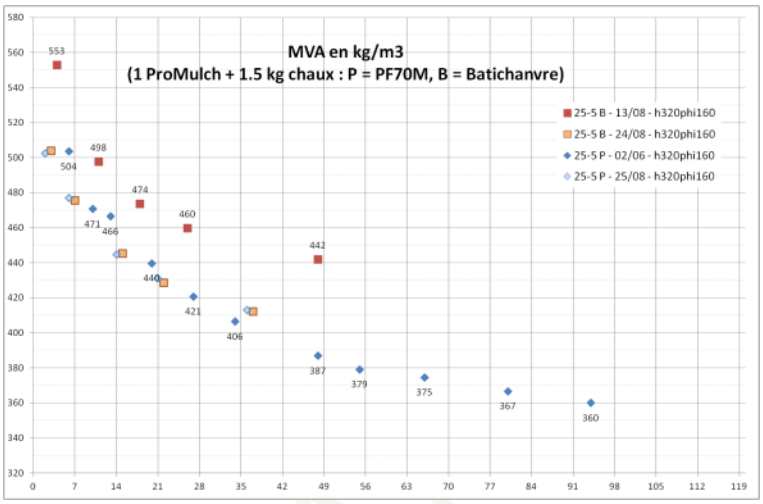
Éprouvettes 1.75 kg chaux / 1 kg granulat végétal (1/3 balle de riz + 2/3 chènevotte)



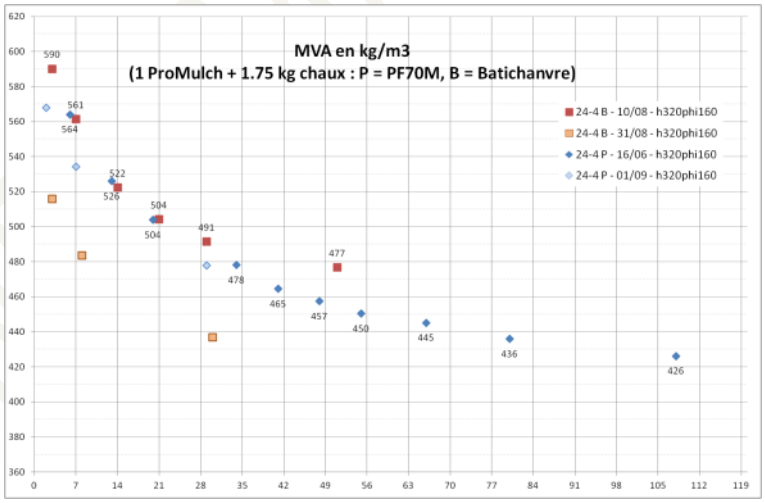
Éprouvettes 2 kg chaux / 1 kg granulat végétal (1/3 balle de riz + 2/3 chènevotte)



Éprouvettes 1.25 kg chaux / 1 kg granulat végétal (chènevotte)

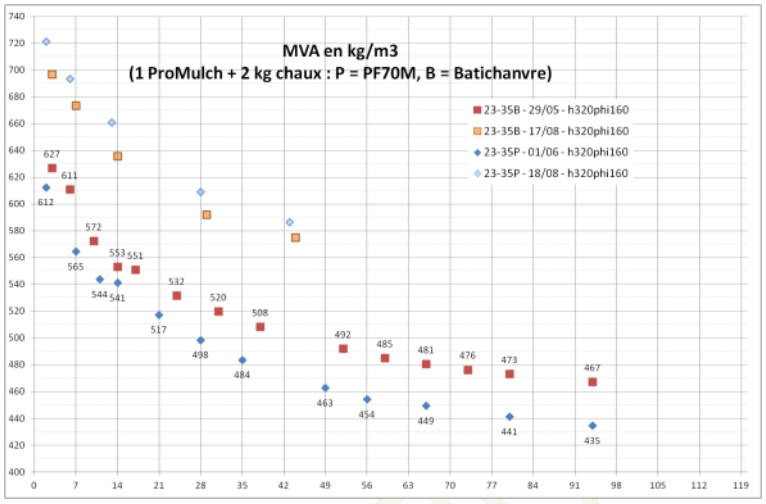


Éprouvettes 1.5 kg chaux / 1 kg granulat végétal (chènevotte)



Éprouvettes 1.75 kg chaux / 1 kg granulat végétal (chènevotte)

POUR INFORMATION



Éprouvettes 2 kg chaux / 1 kg granulat végétal (chènevotte)

Vicat ciment prompt naturel

Pas encore fait / contacts pris

Akta liant

Pas encore fait

Lafarge Nathural

Pas encore fait

Temps de séchage

Comment le mesurer dans des conditions équivalentes à des conditions de chantier ? Difficile.

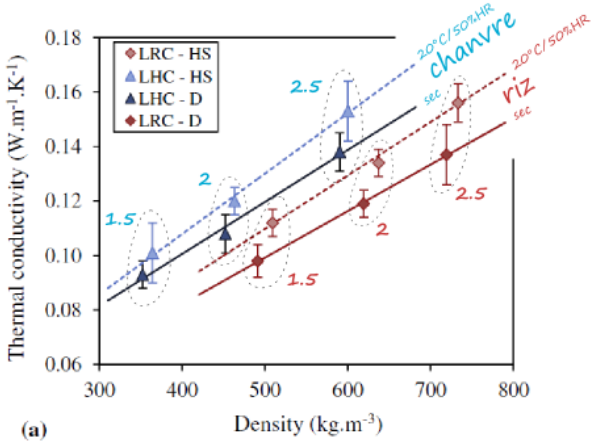
Les échantillons fabriqués n'ont pas été stockés dans une enceinte climatique. La température et l'hygrométrie du lieu de stockage n'ont pas été mesurées (manque de moyens).

La température des éprouvettes n'est pas représentative de celle d'un mur.

Conductivité thermique

Les mesures de conductivité thermique comparatives balle de riz - chènevotte faites par Morgan Chabannes (École des Mines d'Alès) dans sa thèse donnent les résultats suivant (le liant utilisé est un mélange 50/50 de NHL3.5 et de CL90) :

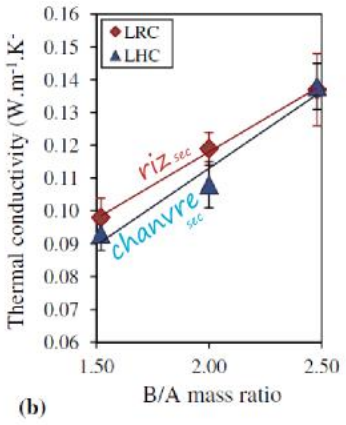
POUR INFORMATION



Thermal conductivity of LRC and LHC mixtures depending on the apparent density (a)

Évolution du lambda en fonction de la densité pour des bétons chaux-balle de riz et chaux-chènevotte

A densité identique, les bétons de balle de riz présentent un lambda légèrement plus faible, mais pour obtenir des densités identiques, les dosages en chaux sont moindres.



Thermal conductivity of LRC and LHC mixtures depending on the B/A mass ratio (b).

Évolution du lambda en fonction du dosage liant/granulat (B/A) pour des bétons chaux-balle de riz et chaux-chènevotte

Pour des dosages en chaux identiques, les bétons de balle de riz présentent un lambda légèrement plus élevés. Pour B/A = 2, pour des bétons secs, on passe de 0.109 à 0.118 W/mK, soit + 8%. Cette différence diminue quand on augmente le dosage en chaux.

Résistance à la compression

Les mesures de résistances à la compression comparatives balle de riz - chènevotte faites par Morgan Chabannes (École des Mines d'Alès) dans sa thèse donnent les résultats suivant (le liant utilisé est un mélange 50/50 de NHL3.5 et de CL90) :

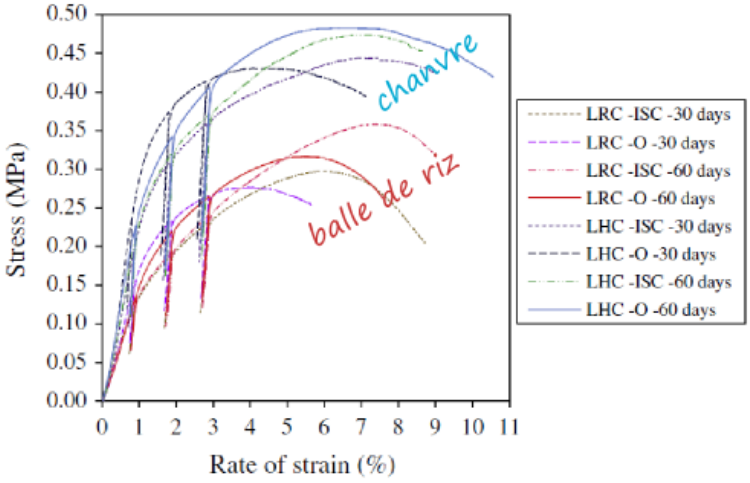


Fig. 12. Stress–strain curves of the concrete specimens.

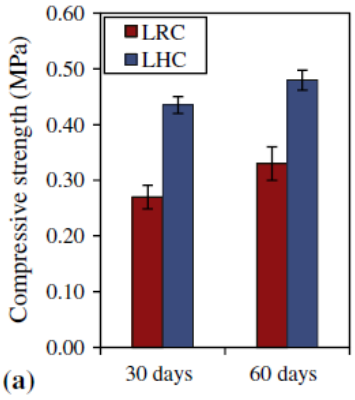


Fig. 13. (a) Average maximum compressive strength for 30 days and 60 days

Courbe de résistance à la compression des bétons chaux - balle de riz et chaux - chanvre pour B/A = 2

La résistance à la compression moyenne à 60 jours est d'environ 0.33 MPa pour le béton de balle de riz (B/A = 2) et 0.48 MPa pour le béton de chènevotte, obtenu pour une déformation d'environ 6%.
Pour une déformation de 1%, l'écart est plus faible (0.14 => 0.20).

Mélange « Balle de riz – chaux - paille »

Liant hydrauliques formulés « Construire en Chanvre » + paille de riz

Paille de riz broyée

Là où on trouve du riz, on dispose à la fois de paille de riz et de balle de riz.
La paille de riz a été broyée avec un broyeur à paille Electra en utilisant une grille de 50 mm.

Broyeur Electra

La paille est très fibreuse contrairement aux autres pailles.
Une paille broyée plus finement rend plus difficile le mélange paille-balle.
Les proportions (en masse) « b2r/p2r » testées sont les suivantes :

- « 100/0 »
- « 95/5 »
- « 90/10 »
- « 85/15»
- « 80/20 »

Toutes fonctionnent bien au niveau mélange à la bétonnière. L'ajout de paille broyée à la balle de riz est plus efficace que l'ajout de chènevotte pour alléger le béton obtenu.

Bétons faits à la bétonnière

Le mélange a été fait à la bétonnière, dans l'ordre suivant :

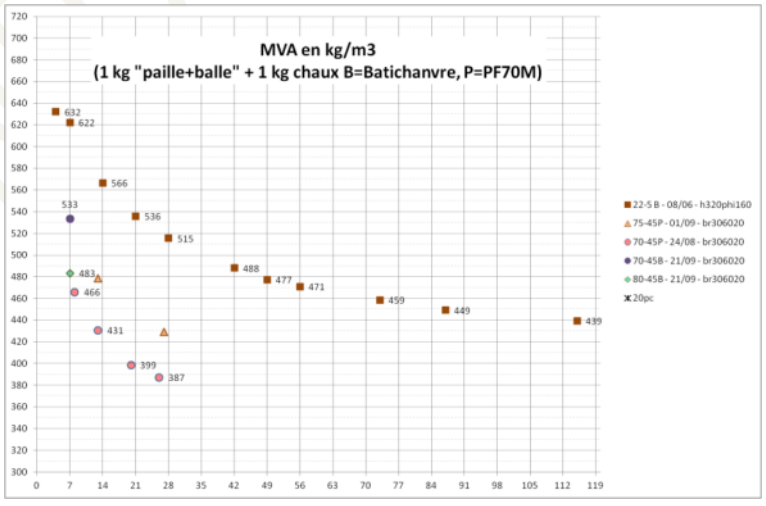
- ✓ Eau
- ✓ Liant
- ✓ Balle de riz
- ✓ Cailloux (pour racler l'intérieur de la bétonnière)
- ✓ Paille de riz

Effet de l'introduction de la paille broyée

18 = 1 b2r + 2 chaux
19 = 1 b2r + 1.75 chaux
20 = 1 b2r + 1.5 chaux
21 = 1 b2r + 1.25 chaux
22 = 1 b2r + 1 chaux

70 = 0.9b2r + 0.1p2r(phi50) + 1.00 chaux
71 = 0.9b2r + 0.1p2r(phi50) + 1.25 chaux
72 = 0.9b2r + 0.1p2r(phi50) + 1.50 chaux
73 = 0.9b2r + 0.1p2r(phi50) + 1.75 chaux
74 = 0.9b2r + 0.1p2r(phi50) + 2.00 chaux
75 = 0.95b2r + 0.05p2r(phi50) + 1.00 chaux
76 = 0.95b2r + 0.05p2r(phi50) + 1.25 chaux
77 = 0.95b2r + 0.05p2r(phi50) + 1.50 chaux
78 = 0.95b2r + 0.05p2r(phi50) + 1.75 chaux
79 = 0.95b2r + 0.05p2r(phi50) + 2.00 chaux
80 = 0.85b2r + 0.15p2r(phi50) + 1.00 chaux
81 = 0.85b2r + 0.15p2r(phi50) + 1.25 chaux
82 = 0.85b2r + 0.15p2r(phi50) + 1.50 chaux
83 = 0.85b2r + 0.15p2r(phi50) + 1.75 chaux
84 = 0.85b2r + 0.15p2r(phi50) + 2.00 chaux
85 = 0.80b2r + 0.20p2r(phi50) + 1.00 chaux
86 = 0.80b2r + 0.20p2r(phi50) + 1.25 chaux
87 = 0.80b2r + 0.20p2r(phi50) + 1.50 chaux
88 = 0.80b2r + 0.20p2r(phi50) + 1.75 chaux
89 = 0.80b2r + 0.20p2r(phi50) + 2.00 chaux

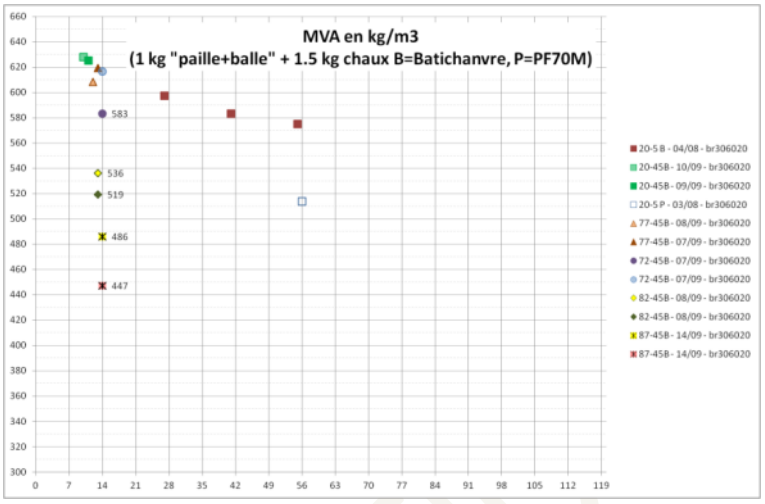
Numérotation des mélanges balle/paille



1 kg chaux / 1 kg granulat végétal (balle de riz / paille de riz)

POUR INFORMATION

Balle de riz



1.5 kg chaux / 1 kg granulat végétal (balle de riz / paille de riz)

POUR INFORMATION

Béton banché « b2r - paille broyée »

Liant « Chaux aérienne - plâtre »

L'association APTE a fait en avril 2014 un essai de béton banché de balle de riz liée avec un mélange chaux-plâtre. Le mélange a été fait à la bétonnière, dans l'ordre suivant :

- ✓ 5 litres d'eau
- ✓ 40 litres de balle de riz
- ✓ 10 litres de paille hachée (c'était pas du riz)
- ✓ 10 litres de chaux aérienne (ou NHL2 St Astier)
- ✓ 5 litres d'eau
- ✓ 7 litres de plâtre gros (ou plâtre briqueteur)
- ✓ 2 à 5 litres d'eau

Le mélange obtenu est beaucoup plus sec que s'il avait été fait à partir de chènevotte.

Mélange obtenu après banchage

On note la présence d'agrégats. Le malaxage des matériaux et l'ordre dans lequel ils sont incorporés au mélange doit être amélioré/modifié pour que ces agrégats disparaissent.

Balle de riz

POUR INFORMATION

Béton banché b2r-chènevotte-chaux

POUR INFORMATION