

–
Liège, Belgique
7-8 Novembre 2018

CARACTÉRISATION DE BRIQUES POUR L'ÉLABORATION DE LIANTS HYDRAULIQUES

GRELLIER Adèle^{AB}, ZHAO Zengfeng^B, REMOND Sébastien^A, COURARD Luc^B, BULTEEL David^A

A Laboratoire de Génie Civil et Géo Environnement, département Génie Civil & Environnemental, IMT Lille Douai, France

B Laboratoire des Matériaux de Construction, Urban and Environmental Engineering, Université de Liège, Belgique

Résumé : Le but est de valoriser les fines de briques issues de la déconstruction et de la démolition. Avant de commencer à travailler sur ces fines de briques, un matériau modèle a été élaboré avec des briques neuves afin de se défaire des aléas physico-chimiques pouvant venir d'autres constituants tels que le béton, le bois, le plastique pouvant être liés au matériau recyclé.

Le travail consiste à caractériser un matériau modèle que sont les fines de briques pour étudier une piste de valorisation en se penchant sur les propriétés liantes potentielles des briques et ainsi pouvoir les incorporer dans des mélanges de liants mixtes avec ou sans activation alcaline.

La première étape est celle de la caractérisation des propriétés chimiques (minéralogie, composition chimique) ainsi que des propriétés physiques (capacité pouzzolanique, absorption d'eau) des fines de briques désignées comme matériau modèle.

Ensuite deux voies de valorisation de ce même matériau sont étudiées : la première consiste en une incorporation des briques dans les ciments sous forme de substitution de la part cimentaire par les fines briques modèles (pas d'utilisation d'activateurs). La seconde est la voie des matériaux alcali-activés, via une substitution par les fines de briques des laitiers de haut fourneau activés par une base alcaline et une solution silicatée. Des premiers mélanges sont testés pour évaluer leurs propriétés mécaniques (étalement, temps de prise, résistance à la compression).

Avec une substitution de 30% de la part cimentaire par les fines de briques modèles, le liant obtenu offre une résistance de 45MPa. Pour les liants avec substitution de 30% par les fines de briques modèles dans les laitiers HF et activation alcaline, le matériau permet d'atteindre une résistance de 55MPa.

Mots-clés : briques, valorisation, liants hydrauliques, activation alcaline

1. INTRODUCTION

L'industrie cimentaire et les entreprises du BTP doivent faire face à des changements économiques et écologiques importants. La démolition et la déconstruction génèrent 250Mt de déchets par an en France, 70% de ces déchets devront être réemployés ou recyclés d'ici 2020 (DIRECTIVE 2008/98/CE).

C'est pourquoi le projet Interreg VALDEM a vu le jour. Il met en place une collaboration transfrontalière entre le nord de la France et la Belgique. Ce projet a pour objectif la valorisation des flux de matériaux issus de la déconstruction et démolition ainsi plusieurs acteurs se concentrent sur un travail d'identification des flux, de leurs propriétés et de leur réutilisation.

Un des flux a été identifié comme étant composé des matériaux silicatés, à savoir les briques et les tuiles, matériaux très utilisés pour la construction dans ces régions transfrontalières. En France, 3Mt de ces déchets silicatés sont produites par an, dont seulement 0,7Mt sont recyclées (Repères, 2018). La valorisation de ces briques et tuiles se fait pour les granulats ou des sables via une réutilisation dans les remblais dans la construction d'infrastructures routières. En revanche les fines issues des installations de broyage n'ont pas de débouchés. Toutefois, les matériaux silicatés ont des propriétés physico-chimiques et minéralogiques qui pourraient être intéressantes pour l'élaboration de liants mixtes à partir de ces fines de briques et de tuiles.

Des premiers liants sont fabriqués à partir de la substitution d'une partie du ciment dans les bétons par des fines de briques ou de tuiles avec utilisation ou non d'une solution alcali-activatrice. En remplaçant dans différentes proportions le ciment par des fines de briques ou de tuiles dans des bétons, de très bonnes performances sont obtenues (Puertas et al., 2008). D'autres études sont menées sur l'incorporation de déchets silicatés dans les ciments avec l'optimisation d'une solution alcali-activatrice. Cette solution faite avec des activateurs alcalins comme du silicate de sodium et de la soude permet d'améliorer les performances des bétons tout en incorporant des matériaux silicatés (Reig et al., 2013 ; Robayo-Salazar et al., 2017). L'ajout de matériaux silicatés telles que les fines de briques donne une perte de résistance mineure mais permettrait une augmentation de la performance de durabilité, ces résultats sont dus aux propriétés pouzzolaniques des briques et des tuiles (Pacheco-Torgal et Jalali 2010).

Une autre voie de valorisation est celle des matériaux alcali-activés, ces matériaux sont issus d'un mélange entre une solution alcali-activée et un matériau alumino-silicaté (Provis., 2017). Les matériaux souvent utilisés comme matière première pour les matériaux alcali-activés sont des cendres volantes ou encore des laitiers de haut fourneau. Les matériaux silicatés issus de la déconstruction pourraient être utilisés comme matériaux alcali-activés. Des formulations avec un des mélanges contenant uniquement des déchets de matériaux silicatés sont élaborées et donnent de bons résultats (Tuyan et al., 2018).

Une alternative intéressante dans cette voie serait de substituer, tout comme dans la voie cimentaire, une part d'un matériau connu comme des cendres volantes ou des laitiers de haut fourneau par les déchets de matériaux silicatés et obtenir des matériaux avec de bonnes performances physiques et mécaniques (Zedan et al., 2017).

Dans notre étude, une première partie sera consacrée à la caractérisation d'un matériau modèle qui sera utilisé tout au long de l'étude : les fines de briques. La caractérisation de ces fines de briques de provenance connue et non polluées permet de mieux comprendre les différentes propriétés et performances de ce matériau qualifié de modèle et ainsi pouvoir étudier deux voies de valorisation par l'élaboration de liants mixtes.

Les deux voies étudiées sont la voie par substitution de la part cimentaire par les fines de briques modèles sans activation et la voie des matériaux alcali-activés avec incorporation des fines de briques modèles dans des laitiers de haut fourneau. Quatre mélanges sont ainsi préparés : deux mélanges contrôles qui sont une pâte de ciment pure (C-B0-0,45) et un matériau alcali-activé avec du laitier (L-B0-0,45) et les deux autres qui sont des substitutions de ces matériaux par 30% de fines de briques modèles (BC-B30-0,45 et BL-B30-0,45).

2. MATÉRIAUX ET MÉTHODE

2.1 Matériaux

Dans cette étude expérimentale le matériau utilisé se compose de briques modèles (Bloc haute résistance, 288*138*138mm), de ciment CEMI 52,5N et de laitier de haut fourneau moulu. Pour la

solution activatrice utilisée dans les formulations avec laitier, elle se compose de silicate de sodium (Geosil Woellner, teneur en substance solide 44%), de pastilles d'hydroxyde de sodium (JT-Baker, 98% de pureté) et d'eau déminéralisée.

La préparation des briques modèles pour les essais consiste à réduire les dimensions avec un concasseur à mâchoire et à broyer pendant 40 minutes avec un broyeur à boulets en acier pour obtenir des fines de brique avec une granulométrie équivalente à un ciment ($d_{50} \approx 20 \mu\text{m}$).

Le travail sur briques modèles permet de s'affranchir des défauts que peuvent avoir les matériaux recyclés tel que les pollutions dues aux autres matériaux (bétons, plâtres, enduits...).

2.2 Méthode expérimentale

Les caractérisations sont effectuées par fluorescence X avec Bruker AXS, S4 Pioneer, BET-BJH (3Flex 4.01), par diffraction de rayon X (DRX) avec diffractomètre Bruker AXS (angle 6-80°, pas de 0,2° et temps d'acquisition 0,5s) ainsi que par granulométrie laser Beckman Coulter.

Les formulations ont été faites suivant la norme NF EN 196-1 : les mélanges sont produits par introduction des matériaux dans un malaxeur de 5L avec homogénéisation pendant 1-2min puis ajout de la solution (eau déminéralisée ou solution activatrice) avec malaxage pendant 90s, récupération de la pâte sur les bords puis malaxage pendant 8min. Ensuite la mesure d'étalement au cône d'Abrams ($d=5\text{cm}$, $D=10\text{cm}$, $H=15\text{cm}$), suivant la norme NF EN 12350-8 à 10min de malaxage est réalisée ainsi que le moulage des éprouvettes 4*4*16cm. Le démoulage s'effectue après 24h puis stockage des éprouvettes à 20°C à 90% d'humidité.

Les analyses mécaniques sont effectuées selon la norme NF EN 196-1 ; les résistances en compression sont obtenues avec une presse Instron 150kN. Les temps de prise sont mesurés avec un appareil Vicat automatique selon la norme NF EN 196-3.

Deux voies de valorisation sont étudiées dans cet article et sont présentées dans les formulations du Tableau 1. La première consiste en l'étude de la voie cimentaire sans activation alcaline. Les formulations préparées sont une pâte de ciment contrôle (C-B0-0,45) et une pâte de ciment avec 30% de substitution du ciment par la fine de brique en gardant un rapport E/S constant à 0,45 (BC-B30-0,45). La deuxième voie est celle des matériaux alcali-activés. Deux échantillons sont préparés ; un contrôle avec l'utilisation de laitier de haut fourneau et une solution activatrice avec un rapport E/S de 0,45, un rapport $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ de 1,45 et un pourcentage Na_2O de 5% (L-B0-0,45). Le second mélange est réalisé avec une substitution de 30% du laitier HF par la fine de brique avec la même solution activatrice que précédemment (BL-B30-0,45).

Tableau 1. Formulations des liants avec différents matériaux (C: Ciment, B: Brique, L: Laitier)

Matériaux (g)	Briques	Ciment	Laitier	Na_2SiO_3	NaOH	H_2O	E/S	$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	% Na_2O
C-B0-0,45	-	2500	-	-	-	1125	0,45	-	-
BC-B30-0,45	750	1750	-	-	-	1125	0,45	-	-
L-B0-0,45	-	-	2500	641	24	903,7	0,45	1,45	5
BL-B30-0,45	750	-	1750	641	24	903,7	0,45	1,45	5

3. RÉSULTATS ET ANALYSES

3.1 Caractérisation des briques modèles

La caractérisation physico-chimique et minéralogique des briques modèles est essentielle pour pouvoir comprendre les différentes propriétés du matériau et ainsi interpréter son comportement vis-à-vis des liants préparés.

Une analyse en fluorescence X de tous les matériaux utilisés a été effectuée (Tableau 2) : elle permet de connaître la composition chimique des matériaux.

Le ciment est composé majoritairement d'oxyde de calcium, de silicium, d'aluminium et de fer qui entrent en compte dans la composition des anhydres comme les silicates bicalciques (C_2S), les silicates tricalciques (C_3S), les aluminates tricalciques (C_3A) et les aluminoferrites tétracalciques (C_4AF).

Le laitier HF est composé d'oxyde de calcium, de silicium et d'aluminium (Rossi et al., 2014). Ces constituants sont sous forme amorphe et ont un pouvoir hydraulique latent. L'utilisation de laitier HF dans cette étude se concentre surtout sur l'activation de ce matériau, une activation avec une solution alcaline composée de silicate de sodium (Na_2SiO_3) et de soude (NaOH). Ces activateurs alcalins vont favoriser l'augmentation du pH et permettre la dissolution des oxydes et ainsi catalyser la réaction d'hydratation.

Les fines de briques modèles sont composées majoritairement d'oxydes de silicium et d'aluminium formant ainsi des alumino-silicates ainsi que des oxydes de fer. Les minéraux alumino-silicatés proviennent de la matière première utilisée pour la fabrication des briques qui est l'argile. Les argiles sont des minéraux appartenant à la famille des phyllosilicates qui sont composés de feuillets d'alumino-silicates dans lesquels s'insèrent des cations comme le K, Na, Ca et Fe. La concentration d'oxydes de silicium et d'aluminium indique que ce matériau pourrait être activé et participer à la réaction d'hydratation des liants hydrauliques.

Tableau 2. Composition chimique des matériaux : briques modèles, ciment CEM I, laitier HF

Eléments (% oxydes)	Briques modèles	Ciment CEM I	Laitier HF
SiO_2	63,4	19	35,4
Al_2O_3	10,1	5	11,6
Na_2O	0,1	0,4	0,3
K_2O	2,1	1	0,5
CaO	1,8	63,6	41,7
MgO	2,3	0,8	6,3
Fe_2O_3	16,6	4,6	0,7
Cr_2O_3	0,1	traces	-
TiO_2	2,5	0,4	0,7
ZrO_2	0,1	-	traces
P_2O_5	0,1	0,2	-
Mn_2O_3	0,2	traces	0,2
SO_3	-	4	1,5
BaO	0,1	traces	traces
ZnO	traces	traces	traces
SrO	traces	traces	traces
Perte au feu (1050°C)	0,5	-	-

La fabrication des briques se fait par cuisson entre 850 et 1100°C en fonction de l'argile utilisée (Fédération Française des Tuiles et des Briques). Lors de ce changement de phase, les minéraux argileux entrent dans une réaction appelée la réaction de frittage, qui consiste en un soudage des grains entre eux et permet le développement de la cohésion du matériau. C'est cette réaction qui permet la formation de la brique cuite. De nouveaux minéraux sont ainsi produits.

La composition minéralogique des fines de briques est déterminée par diffraction de rayon X (Tableau 3). Les briques modèles respectent une composition de briques classiques (Kornmann., 2009), soit une part majoritaire de quartz qui est la phase siliceuse principale puis de l'oxyde de fer (hématite), des feldspaths potassiques et sodiques (microcline intermédiaire, albite) et une phase amorphe de 20%. C'est cette phase amorphe qui permettrait de produire une réaction pouzzolanique, qui pourrait aussi être activée avec la solution d'activation alcaline et permettre ainsi la réaction d'hydratation dans ces deux cas.

Pour connaître l'activité pouzzolanique des briques modèles, un test a été réalisé : c'est l'essai Chapelle. Selon la norme américaine ASTM C125-07, une pouzzolane naturelle est un matériau siliceux ou silico-alumineux qui ne possède pas lui-même des propriétés liantes mais qui, sous forme finement divisée et en présence d'humidité, réagit chimiquement avec l'hydroxyde de calcium à

température ambiante pour former des composés possédant des propriétés liantes. Contrairement à certains résultats de la littérature qui utilisent également des briques (Wild et al., 1997), le résultat de l'essai sur fines de briques modèles étudiées montre l'absence d'effet pouzzolanique.

Tableau 3. Composition minéralogique des briques modèles

Composé minéralogique	Briques modèles Teneur (% semi-quantitatif)
Quartz α SiO_2	53,3
Hématite Fe_2O_3	10,8
Microcline Intermédiaire KAlSi_3O_8	9,2
Albite $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	4,0
Cristobalite SiO_2	2,7
Phase amorphe	20

Suite à la caractérisation chimique et minéralogique des fines de brique, des essais de granulométrie sont réalisés. Le but est de fabriquer des fines de brique ayant une granulométrie équivalente à un ciment et notamment au ciment utilisé pour cette étude le CEM I 52,5N. Différents temps de broyage sont testés pour obtenir un matériau pouvant s'apparenter à un ciment en termes de taille de grains. Les briques modèles sont obtenues après un broyage de 40min (Figure 1).

Pour le ciment, un d_{50} de $7,7\mu\text{m}$ et pour les fines de briques un d_{50} de $17,05\mu\text{m}$ sont mesurés. Les deux matériaux sont légèrement différents : le ciment semble plus fin que les briques mais la granulométrie reste dans des échelles équivalentes.

Toutefois, la part d'ultrafines dans les briques, soit une granulométrie inférieure à $5\mu\text{m}$, est de 23%. Cet aspect granulométrique pourrait permettre de mettre en évidence un effet filler du matériau. Ce phénomène entrainerait une modification du squelette granulaire en améliorant la capacité d'empilement des particules, une augmentation des sites de nucléation et ainsi avoir un meilleur rendement de la réaction d'hydratation et de prise.

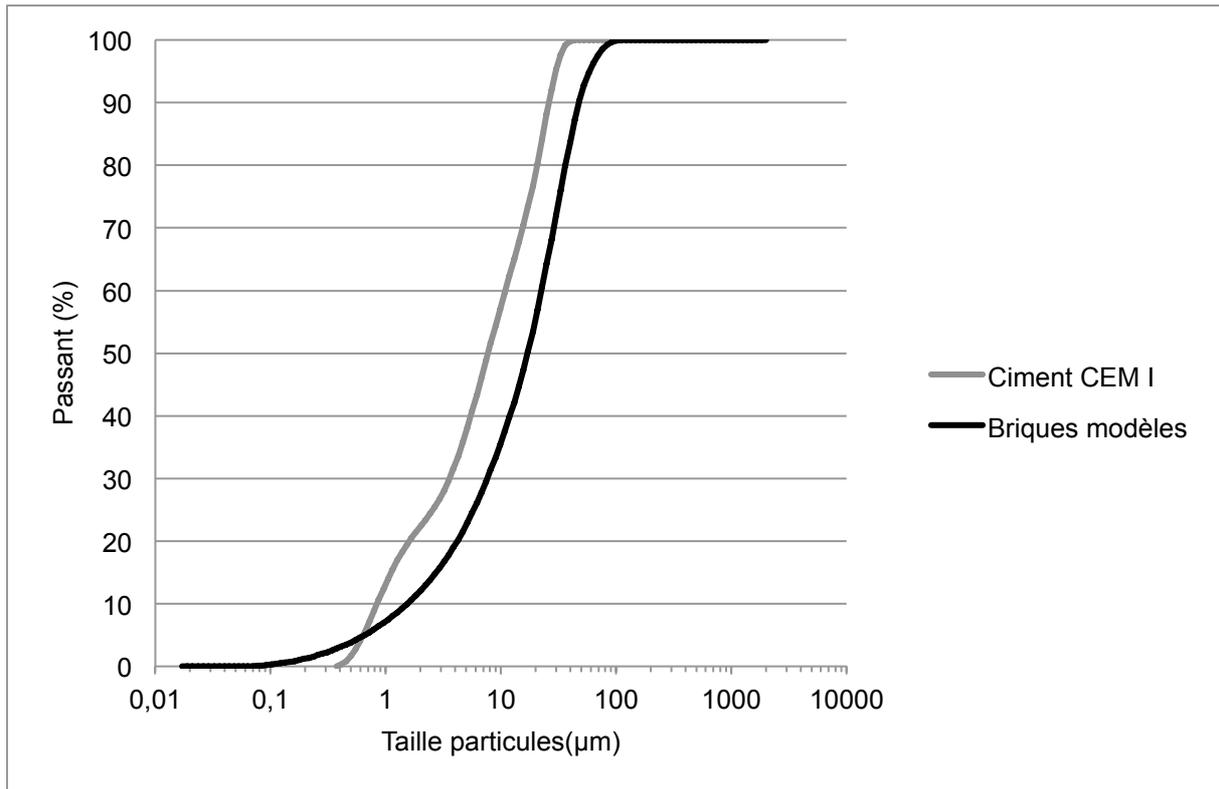


Figure 1. Distribution de la taille des particules des briques modèle et de ciment CEM I

3.2 Mesure d'étalement

La mesure d'étalement permet de comprendre le comportement des matériaux avec l'eau. La mesure est effectuée selon la norme NF EN 12350-8 et les résultats sont présentés sur la Figure 2.

Dans un premier temps, des mesures sont effectuées sur une pâte de ciment CEM I et une pâte composée de briques modèles, respectivement pour des E/S de 0,4 ; 0,45 et 0,5. Avec E/S représentant l'eau totale de la solution sur S, la masse de matériaux solides. Ces premiers essais donnent une indication sur la différence de comportement entre le matériau cimentaire et les briques modèles. L'étalement des fines de briques modèles est plus important que celui du ciment avec une différence de 13% entre les deux matériaux. Cette différence pourrait être due au fait que les matériaux, malgré leur similarité granulométrique, n'ont pas les mêmes propriétés d'absorption d'eau et plus vraisemblablement une morphologie granulaire différente.

Dans l'étude, les formulations sont faites avec un E/S constant de 0,45 : ce choix a été fait pour pouvoir comparer les formulations entre elles. En ce qui concerne la formulation avec pâte de ciment, elle donne un étalement de 163mm tandis que pour l'échantillon avec 30% de briques, l'étalement est de 169mm. Ces étalements peuvent être considérés comme équivalents avec une différence inférieure à 6mm.

Au niveau des formulations avec le laitier alcali-activé, les étalements sont de 303mm pour le laitier et de 303,5mm pour la formulation avec 30% de briques : tout comme les résultats avec le ciment, les étalements sont identiques à 0,5mm près.

L'incorporation de 30% de fines de briques n'entraîne donc pas de changement dans la fluidité du matériau, que ce soit pour les pâtes de ciment ou pour les matériaux alcali-activés. Avec ces premiers résultats, les formulations peuvent être élaborées à maniabilité constante.

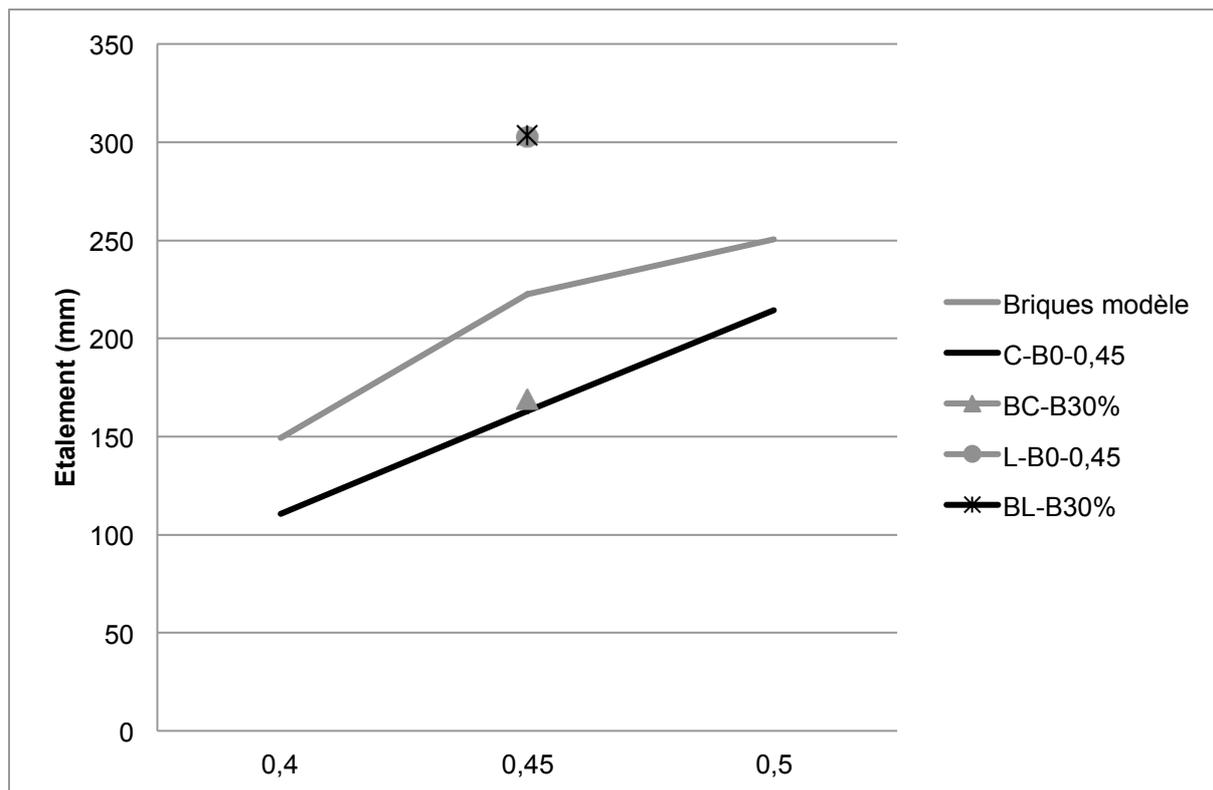


Figure 2. Test d'étalement avec différents E/S: 0,4 ; 0,45 ; 0,5 pour CEM I et briques ainsi que pour les formulations à E/S=0,45

3.3 Temps de prise

Dans notre étude, le temps de prise est un paramètre qui évolue énormément en fonction des mélanges, comme le montre le Tableau 4. Lorsqu'on substitue la part cimentaire avec 30% de brique, le temps de prise est plus altéré en début de prise qu'en fin de prise. Les résultats indiquent un temps de début de prise allongé de 40min et une fin de prise équivalente.

Pour les laitiers et la substitution de 30% par les briques, la fin de prise est fortement affectée. En effet, ce temps est doublé passant de 1h15 à 2h30. En revanche, le temps de début de prise est très proche avec seulement 5 minutes de plus.

En se référant aux résultats obtenus, les temps de prise restent corrects que ce soit pour les matériaux cimentaires ou pour les matériaux alcali-activés ; l'incorporation de briques augmente le temps de prise sans gêner la mise en place du matériau (J.Abdo., 2008).

Tableau 4. Temps de prise pour les différentes formulations

	Début de prise	Fin de prise
C-B0-0,45	5h	10h
BC-B30-0,45	5h40min	10h
L-B0-0,45	55min	1h15min
BL-B0-0,45	1h	2h30

3.4 Résistance en compression

Les tests de résistance en compression sont réalisés sur plusieurs échéances : 1, 7, 14 et 28 jours (Figure 3). Pour les 4 formulations il y a une forte augmentation de la résistance dans les premiers

jours et un ralentissement après 7 jours. Les courbes pour les formulations à base de ciment semblent avoir une allure asymptotique alors qu'avec le laitier, le gain de résistance se poursuit après 7 jours. L'obtention des résistances maximales est plus rapide pour les ciments que pour les matériaux-alcali-activés.

La voie cimentaire sans activation donne des résistances à 28 jours allant jusqu'à 55MPa pour le contrôle et 45MPa pour la formulation avec 30% de briques, soit seulement une perte de 17% de résistance. La diminution de résistance n'étant pas proportionnelle au taux de substitution, il semblerait qu'une part des briques incorporées dans le mélange réagisse avec le milieu.

Pour les matériaux alcali-activés, la résistance après 28 jours est de 75MPa pour le contrôle et de 55MPa pour la formulation avec 30% de briques, soit une perte de 26% de résistance. La perte de résistance est plus élevée qu'avec le matériau cimentaire mais ces formulations devraient encore être optimisées, notamment au niveau de la variation de la concentration en activant.

La résistance des matériaux alcali-activés est plus importante que celle des matériaux cimentaires non activés ; il existe une différence de 26% entre les résistances du matériau alcali-activé (L-B0-0,45) et la pâte de ciment non activée (C-B0-0,45). L'activation joue un rôle important dans la performance du matériau à base de laitier HF et les résistances sont bien plus importantes.

Toutefois, même avec la perte de résistance observée lors des substitutions avec la brique et une différence entre matériaux alcali-activés ou non, les résistances après 28 jours sont au-delà des 45MPa, ce qui est suffisant pour des matériaux potentiellement utilisables dans des produits manufacturés à base de bétons ou de mortiers.

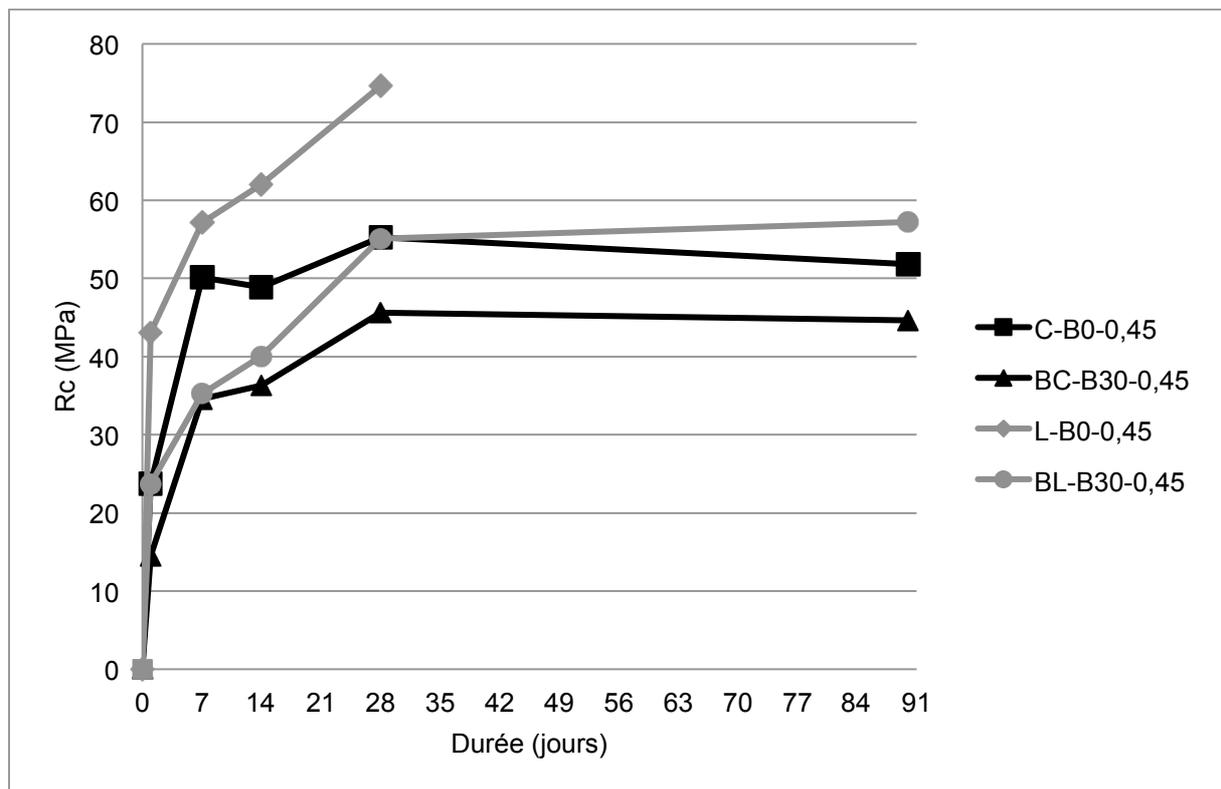


Figure 3. Résistance en compression des formulations

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La valorisation des fines de briques est essentielle dans le contexte économique et écologique d'aujourd'hui. Le recyclage du matériau permettrait une diminution de l'impact écologique des matériaux du BTP ainsi qu'un gain économique par la réutilisation de ces mêmes matériaux dans la fabrication de nouveaux liants.

Des travaux déjà effectués sur des fines de briques recyclées montrent le potentiel de ce matériau. La réalisation d'un matériau modèle de fines de briques permet de voir toute l'étendue de leurs propriétés physico-chimiques et minéralogiques ainsi que du potentiel de ces matériaux silicatés.

La caractérisation des briques modèles met en lumière trois points essentiels pour l'utilisation de celles-ci. Tout d'abord, un taux de composés amorphes de 20% ; cette phase amorphe pourrait être activée par activation alcaline. L'activation de celle-ci permettrait de compenser la perte de résistance lors des substitutions de matériau. Ensuite, ces fines de briques présentent une granulométrie équivalente à un ciment avec un pourcentage d'ultrafines (inférieur à 5µm) de 23%. Cette finesse pourrait permettre un effet filler via la nucléation ou encore l'amélioration de la compacité du squelette granulaire, entraînant une augmentation de la réaction d'hydratation. Le dernier paramètre est la pouzzolanité mais celui-ci ne semble pas être actif dans la brique modèle étudiée. En effet, l'essai Chapelle réalisé sur cette brique modèle donne un résultat négatif. Au vu de la bibliographie, ce résultat est en contradiction avec d'autres études comme celle de Wong et al., 2018 où les briques peuvent présenter un effet pouzzolanique. D'autres essais comme celui de Frattini selon la norme EN 196-5 et le calcul de l'indice d'activité de force (Strength Activity Index, SAI) devront être effectués pour pouvoir conclure sur cet effet pouzzolanique dans le cas de la brique modèle utilisé.

Suite à la caractérisation des briques modèles, des formulations ont été élaborées avec une substitution de 30% de fines de briques modèles. Ces mélanges avec les deux matériaux que sont le ciment et le laitier de haut fourneau ont donné des produits avec des propriétés mécaniques et rhéologiques intéressantes. Des performances mécaniques de 45MPa pour les mélanges ciment-briques et de 55MPa pour les mélanges laitiers HF-briques sont obtenues. Les débuts de prise de 5h40min pour la formulation ciment-brique et 55min pour la formulation laitier-briques doivent être pris en compte dans la mise en place des matériaux. En conclusion, au vu des performances, la formulation de liants hydrauliques avec une substitution par des briques est réaliste.

Par la suite de nouvelles formulations vont être étudiées pour optimiser les mélanges. Dans la voie cimentaire, des formulations classiques avec des pourcentages de substitution croissants seront préparées ainsi que des mélanges avec une solution activatrice pour formuler un matériau alcali-activé. En ce qui concerne la voie des laitiers HF, une optimisation de la solution activatrice ainsi qu'une augmentation de la proportion de briques substituées sera effectuée. Des expérimentations avec des variations de paramètres tels que le E/S, la concentration d'activateur et la caractérisation des nouvelles phases formées sont envisageables pour affiner les connaissances sur les réactions entre les matériaux et la compréhension des nouvelles performances.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'INISMA et le CTP pour leur participation à la préparation et caractérisation des matériaux. Cette recherche a été menée grâce au soutien du projet Interreg VALDEM « Solutions intégrées de valorisation des flux de matériaux issus de la démolition des bâtiments: approche transfrontalière vers une économie circulaire » (Convention n ° 1.1.57 d'Interreg France-Wallonie-Vlaanderen 2014-2020).

RÉFÉRENCES

- ASTM C125-07 Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007
- AFNOR NF EN 196-1 Méthodes d'essais des ciments -Partie 1 : Détermination des résistances (2016)
- AFNOR NF EN 196-3 Méthodes d'essai des ciments -Partie 3 : Détermination du temps de prise et de la stabilité (2017)
- AFNOR NF EN 12350-8 Essai pour béton frais -Partie 8 : Béton auto-plaçant - Essai d'étalement au cône d'Abrams (2010)
- Abdo J. (2008). « Ciments-Construction et travaux publics - Les superstructures du bâtiment » *Techniques de l'ingénieur* C920.V2
- DIRECTIVE 2008/98/CE Du Parlement Européen et du Conseil du 19 novembre 2008, relative aux déchets et abrogeant certaines directives.
- FFTB. Fédération Française des Tuiles et des Briques : <http://www.fftb.org>
- Kornmann M., (2009). « Matériaux de terre cuite - Matières de base et fabrication », *Techniques de l'ingénieur* C905.V2

- Pacheco-Torgal F. et Jalali, S. (2010). « Reusing Ceramic Wastes in Concrete ». *Construction and Building Materials* 24 (5): 832-838.
- Provis, J.L. (2017). « Alkali-activated materials ». *Cement and Concrete Research*.
- Puertas F, García-Díaz I, Barba A, Gazulla M.F, Palacios M, Gómez M.P, et Martínez-Ramírez S. (2008). « Ceramic wastes as alternative raw materials for Portland cement clinker production ». *Cement and Concrete Composites* 30 (9): 798-805.
- Reig L, Tashima M.M, Borrachero M.V, Monzó J, Cheeseman C.R, et Payá J. (2013). « Properties and Microstructure of Alkali-Activated Red Clay Brick Waste ». *Construction and Building Materials* 43 (juin): 98-106.
- Repères, (2013) « Le cycle des matières dans l'économie française ». Construction et travaux publics. Commissariat général au développement durable.
- Robayo-Salazar R.A, Rivera J.F, et Mejía de Gutiérrez R. (2017). « Alkali-Activated Building Materials Made with Recycled Construction and Demolition Wastes ». *Construction and Building Materials* 149 (septembre): 130-138.
- Rossi, P., Gavois, L., et Raoul, G., (2014). « Laitiers de haut-fourneau - Origine, production et caractéristiques », 32.
- Tuyan M, Andiç-Çakir O, et Ramyar K. (2018). « Effect of Alkali Activator Concentration and Curing Condition on Strength and Microstructure of Waste Clay Brick Powder-Based Geopolymer ». *Composites Part B: Engineering* 135 (février): 242-252.
- Wild S, Gailius A, Hansen H, Pederson L, et Szwabowski J. (1997). « Pozzolanic Properties of a Variety of European Clay Bricks ». *Building Research & Information* 25 (3): 170-175. <https://doi.org/10.1080/096132197370435>.
- Wong C.H, Mo K.H, Yap S.P, Alengaram U.J, Ling T.C, (2018). " Potential use of brick waste as alternate concrete-making materials: A review" *Journal of Cleaner Production* 195 : 226-239
- Zedan S.R., Maha R. Mohamed, Doaa A. Ahmed, et Aya H. Mohammed. 2017. « Effect of demolition/construction wastes on the properties of alkali activated slag cement ». *HBRC Journal* 13 (3): 331-336.