



Impacts des granulats recyclés (bétons et des briques) sur les bétons frais dans la région du centre au Burkina Faso

Boukari SAWADOGO¹, OUOBA Emile², Bernard GOUBA³ CUSH NGONZO LUWESI⁴

Distant Production House University (DPHU), Kigali, Rwanda

Université de Technologie et de management (UTM), Burkina Faso

Université de LISALA, RDC

Résumé : Le monde de la construction a besoin de granulats de qualité pour la construction des routes, des bâtiments, et des infrastructures publiques, de transport, ainsi que dans la réalisation des travaux d'entretien. Ce besoin continue de s'accroître partout en Afrique en général et au Burkina Faso en particulier.

Dans le cas spécifique de cette recherche, il s'est agi d'effectuer des essais au laboratoire sur plusieurs granulats recyclés des bétons et des briques afin de déterminer les propriétés rhéologiques du béton à l'état frais. Ce choix a été guidé par un souci d'identifier et d'analyser les caractéristiques des granulats recyclés des bétons qui impactent les propriétés des bétons ainsi que leurs caractéristiques à l'état frais.

L'objectif visé a aussi guidé le choix des différents types de bétons de granulats retenus pour la mesure des propriétés des bétons frais dans la région du centre.

Les résultats obtenus, tiennent compte de l'effet de l'état hydrique des granulats recyclés (gravillons ou sable), en substitution aux granulats



naturels, sur les propriétés du béton à l'état frais (affaissement au cône, paramètres d'écoulement déterminés par essais en laboratoire)

Mots clés : *granulats recyclés – rhéologiques – béton – Etat hydrique – substitution.*

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.12510226>

1- Introduction

Compte tenu de la rareté des matériaux de constructions notamment les agrégats (ressources naturelles non renouvelables), il était important de mener des investigations en vue de trouver d'autres sources d'approvisionnement en matériaux. Les granulats de bétons et de briques s'avèrent donc être une opportunité saisissable pour pallier à cette insuffisance. Cette recherche a pour objectif d'étudier le comportement rhéologique et physico-mécanique des bétons de granulats recyclés de la région du centre, influencé par le type de granulats et l'âge du béton. Elle permet d'établir un parallélisme entre les théories empiriques sur le comportement du béton ordinaire avec les qualités intrinsèques des bétons de granulats recyclés. [4]

Il s'agira notamment d'appréhender leurs influences sur la résistance caractéristique de bétons de granulats recyclés dans la région du centre. Ce qui permettra de dériver les effets sur les bétons notamment sur les bétons frais. Également, on étudiera le comportement de ces bétons pour une meilleure usage dans l'industrie de la construction.

Afin d'évaluer l'apport de bétons en granulats et l'âge des matériaux, l'étude recourt à la méthode analytique et expérimentale rhéologique de ces belons à l'état frais.

2. Matériaux, Matériels et méthode

2.1. Matériaux

2.1.1. Le ciment

Dans le cas de notre étude, nous avons utilisé du ciment CEM II A-L 42,5 R appelé ETALON SPECIAL produit par la société CIMBURKINA. Ces

ciments correspondent à la norme Burkinabè NBF02-013 : 2009, Rev 1.2012 équivalente à la norme EN 197. Ils sont testés et approuvés par le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP).

Le choix du ciment se fera à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu, de l'usage auquel on le destine.

2.1.2. Eau de gâchage

L'eau utilisée pour la confection des bétons de granulats recyclés sont les mêmes que celle utilisée dans la fabrication des bétons classiques. Cette eau est distribuée par de l'Office Nationale des Eaux et de l'assainissement (ONEA). Cependant l'eau efficace comprendra, en plus de l'eau de gâchage une quantité non négligeable, apportée par les agrégats.

L'eau de l'ONEA est une eau potable provenant du robinet en principe exempte d'impuretés. Le paramètre fréquemment utilisé est le rapport massique de la quantité d'eau à celle du ciment, noté E/C. L'eau utilisée est celle du Laboratoire, les résultats de l'analyse chimique de l'eau utilisée répondent aux prescriptions de la norme NF P 18-303.[1]

3.METHODES

3.1. Composition du béton

L'eau utilisée est celle du Laboratoire, selon les prescriptions de la norme NF P 18-303.

Pour avoir une meilleure qualité, les éprouvettes cylindriques 16/32 ont été réalisées avec :

- Des granulats naturels (béton témoin)
- Des granulats recyclés
- Des granulats mixtes (granulats naturels + 30% de granulats recyclés).

Ces études visent à appréhender l'impact des différents granulats en effectuant des croisements judicieux.

3.2. Tableau de la composition du béton

Ce tableau montre la méthodologie d'association des granulats permettant de réaliser les différents essais caractérisant les bétons frais :

Tableau1 : Compositions des mélanges granulaires de la variété des bétons utilisés

Les granulats utilisés pour la composition des bétons						
Référence du béton	<i>Sable naturel Alluvionnaire</i>	<i>Sable Recyclé de brique</i>	<i>Graviers Naturels Concassés</i>	<i>Graviers Naturels Roulés</i>	<i>Graviers Recyclés Concassés</i>	<i>Graviers Recyclés de Retour de Toupie</i>
1^{ère} Série : Granulats naturels (Témoin)						
BN1	+		+			
BN2	+			+		
2^{ème} Série : Granulats recyclés						
BR1		+				+
BR2		+			+	
3^{ème} Série : Granulats mixtes						
BM1	+				+	
BM2		+	+			
BM3	+					+
BM4		+				+
BM5		+		+		

3.3. Tableau des besoins en matériaux

Après l'application de la méthode de formulation de G.DREUX, on obtient la formulation suivante :

Tableau 2 : proportions des matériaux

	1 m3 granulats naturels	1 m3 Granulats recyclés
Ciment	325 kg	325 kg
Eau	171,95 L	174,23
Sable	658,442 kg	263,37
Gravier	1165,977 kg	466,38

3.4. Malaxage du béton

Les constituants de base du béton (Ciment ; Sable ; Gravier et Eau) doivent mélangés correctement afin de produire un béton frais dont les granulats seront bien enrobés et qui seront donc homogène et possédés par conséquent des propriétés uniformes [18] Le malaxage est effectué à l'aide de malaxeurs ou à la main. On aura à utiliser deux types de malaxage :

3.4.1 Malaxage à la main

Pendant cette opération, les granulats doivent être déposés en une couche uniforme sur une surface plane, dure, propre et non absorbante.

Dans un premier temps, le ciment et le sable sont mélangés de façon homogène en les retournant d'un bout à l'autre de la surface et en les recoupant avec la pelle jusqu'à ce que le mélange semble uniforme.

Dans un second temps, on y ajoute le gravier et bien retourner le mélange au moins trois fois.

Et enfin ajouté eau progressivement afin qu'elle ne s'écoule pas vers l'extérieur en entraînant le ciment hors de l'air de gâchage. Jusqu'à ce qu'il ait une consistance et une couleur uniformes, le mélange est retourné au moins trois fois.

Durant le malaxage à la main, il est important de veiller à ce que des impuretés extérieures ne s'y introduisent.

3.4.2 Malaxeurs à béton

Pour s'assurer de la qualité du mélange, il est impératif d'utiliser des malaxeurs à béton qui permettront non seulement assurer un malaxage

uniforme des constituants du béton, mais également ils assureront une vidange sans modifier l'homogénéité.

4. Essais de caractérisation des bétons frais

4.1. Affaissement au cône d'Abrams

En fonction de l'affaissement mesuré, la maniabilité du béton est appréciée et une manière de sa mise en œuvre est recommandée.

Les consistances données par la norme NF P 18-451 sont présentées dans le tableau 5.[10]

4.1.1 Figure du cône d'Abrams

La figure suivante est illustrative du cône d'Abrams utilisé pour réaliser l'essai d'affaissement du béton.



Figure 1 :Cône d'Abrams

4.1.2 Figure de la procédure méthode d'exécution de l'essai

Cette figure montre la procédure de détermination de l'affaissement au cône.

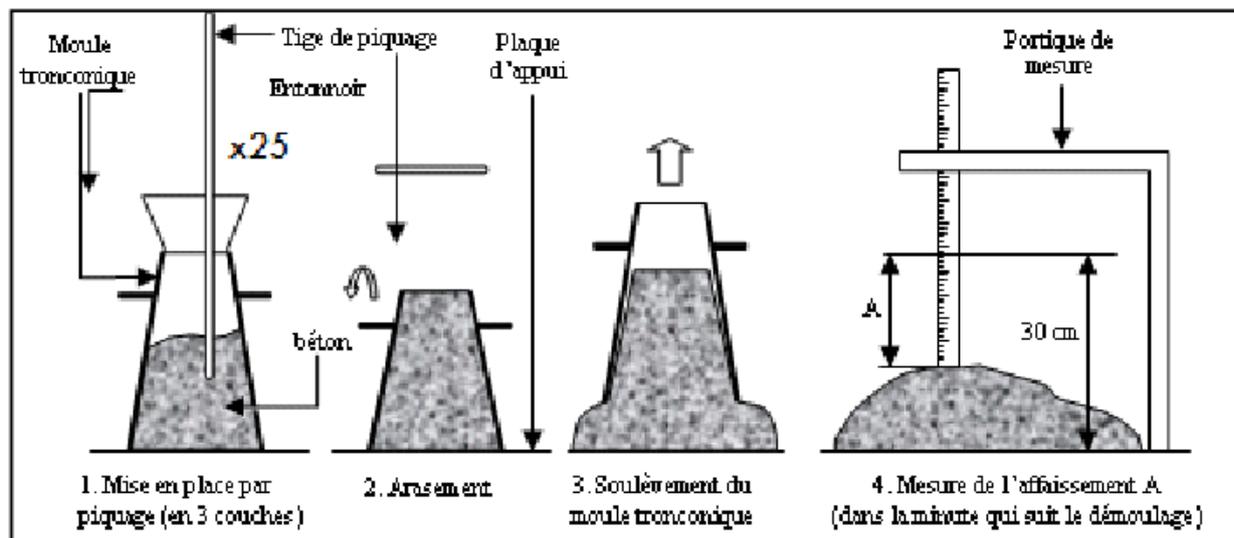


Figure 2 : Principe du Test au cône d'Abrams [18] [14]

4.1.3 Tableau illustrant l'interprétation des résultats de l'essai

Le tableau suivant indique comment les résultats au cône sont interprétés.

Tableau 3: Vibration recommandé en fonction de l'ouvrabilité du béton [8] [6] [4]

Bétons	Mise en oeuvre	Affaissement (cm)
Très ferme	Vibration puissante	0 - 2cm
Ferme	Bonne vibration	3 - 5cm
Plastique	Vibration courante	6 - 9cm
Mou	Piquage	10 - 13cm
Très mou	Leger piquage	>13cm

4.2. Etalement (flow test)

L'essai d'étalement au cône d'Abrams est un essai réalisé sur le béton autoplaçant frais pour déterminer sa consistance. L'étalement est aussi connu sous le nom de *slump flow* en anglais. [6]

4.2.1 Tableau

Ce tableau décrit les classes des bétons selon la norme NF EN 206-9 et prévoit :

Tableau 4 : Classes des bétons selon la norme européenne EN-206

	Classe	Étalement (mm)	Description de la consistance
Béton conventionnel vibré (BCV)	F1	≤340	Ferme
Béton semi autoplaçant (SAP)	F2	350 à 410	Plastique
	F3	420 à 480	Très plastique
	F4	480 à 550	Très molle
	F5	560 à 620	Fluide
Béton autoplaçant (BAP)	F6	≥ 630	Très fluide

4.2.2 : Figure indiquant la méthode de réalisation de l'essai.

L'essai d'étalement pour les BAP est déterminé par :

$$\text{Étalement} = \frac{d_1 - d_2}{2} \quad (\text{Eq 1})$$

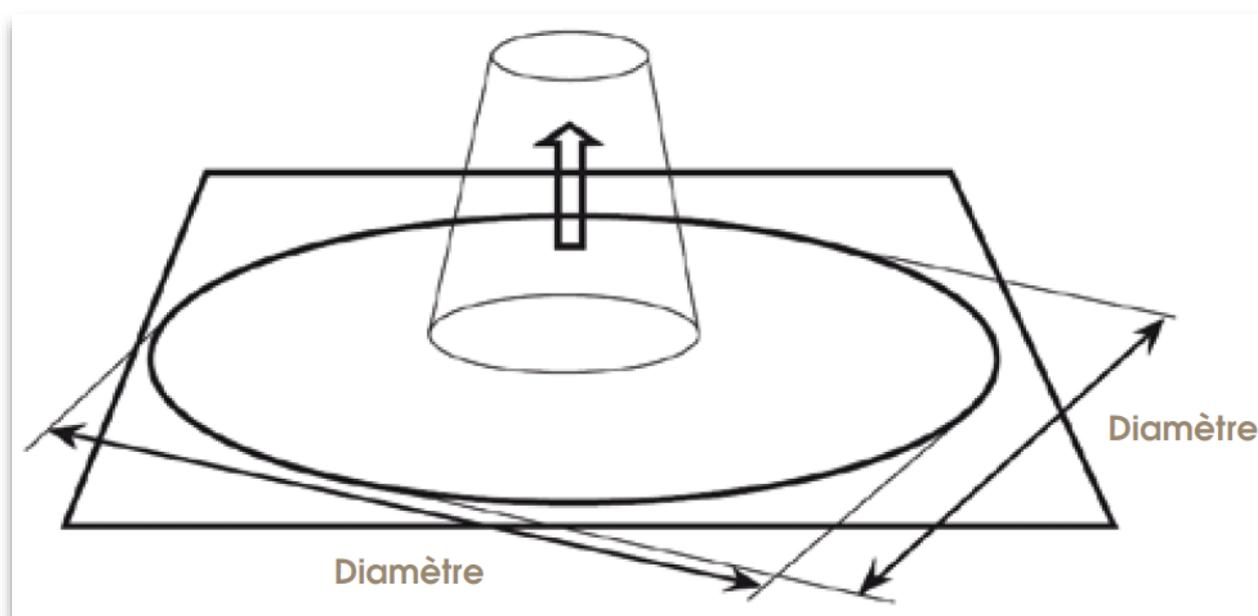


Figure 3 : Essai d'étalement

4.3. Figure variation de la compacité des bétons

L'essai consiste à remplir le récipient de béton, en le laissant tomber alternativement. Après avoir été arasé, le béton est compacté, à l'aide de la table vibrante.

On procède ensuite, à la pesée totale puis on remplit le récipient de béton et on active les vibrations jusqu'à ce qu'on ne puisse plus déceler de diminution de volume. Le degré de compacité est exprimé par le rapport entre la masse de béton avant et après compactage.

$$C = \frac{Ht}{Ht-Hc} \quad (\text{Eq 2})$$

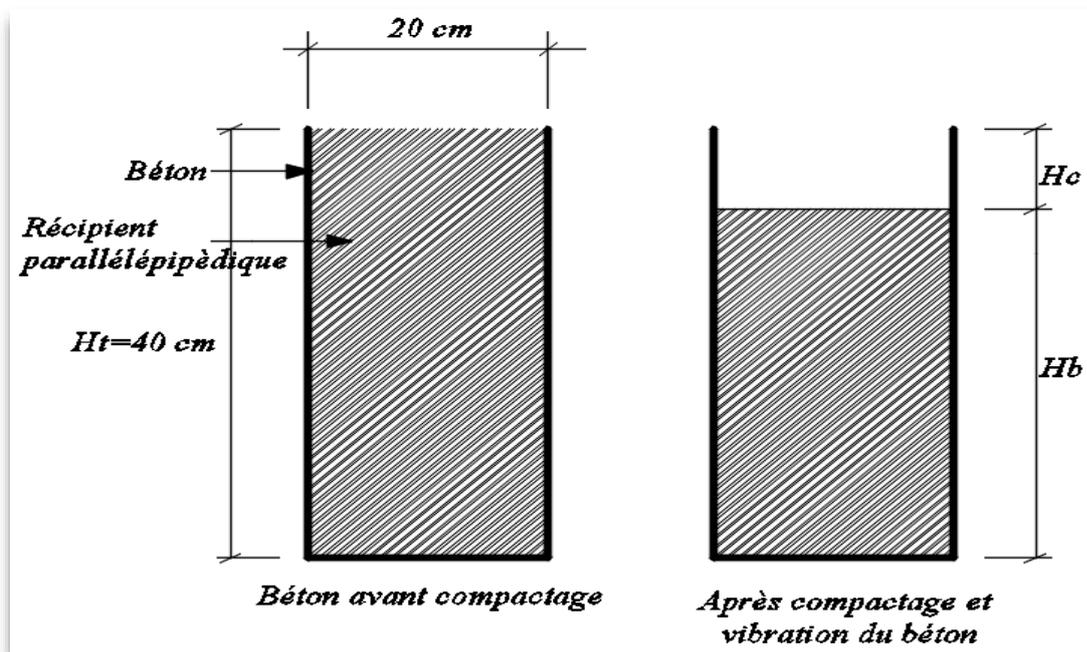


Figure 4 : Schématisation de la variation de la compacité des bétons [3]

5. Résultats et discussions

5.1 Résultats

5.1.1 Tableau des résultats de l'affaissement au cône d'Abrams

L'ouvrabilité a été mesurée par le Slump-Test avec le cône d'Abraham conformément à la norme NF P 18-451. Tous les bétons ont été fabriqués avec la même ouvrabilité pour faciliter la comparaison entre eux.

Tableau 5. :Affaissement des bétons

Bétons	BN1	BN2	BR1	BR2	BM1	BM2	BM3	BM4	BM5
Affaissement (cm)	7,2	7,4	5,5	6,1	6,5	6,4	6,9	6,7	6,8

5.1.2. Tableau des résultats de l'étalement du béton (flow test)

L'essai d'étalement au cône d'Abrams est un essai réalisé sur le béton autoplaçant frais pour déterminer sa consistance. L'étalement est aussi connu sous le nom de *slump flow* provenant de l'anglais. [1]

Les résultats d'essai d'étalement pour les BAP sont présentés dans le tableau 47 arrondis à 10 mm près

Tableau 6 :Etalement des bétons

Bétons	BN1	BN1	BR1	BR2	BM1	BM2	BM3	BM4	BM5
Etalement Diamètre (mm)	410	415	345	350	385	380	400	385	405

5.1.3. Tableau des résultats de la compacité

Le degré de compactibilité est exprimé par le rapport entre la masse de béton avant et après compactage.

Tableau 7: Compacité des bétons

Bétons	BN1	BN1	BR1	BR2	BM1	BM2	BM3	BM4	BM5
Compacité	1,90	1,60	1,15	1,10	1,36	1,40	1,42	1,35	1,45

5.1.4. Tableau des résultats de la masse volumique

La masse volumique du béton frais δf est donnée par le Tableau 5.d suivant :

Tableau 8 : Masse volumique des bétons

Bétons	BN 1	BN2	BR1	BR2	BM1	BM2	BM3	BM4	BM5
Masse volumique (kg/l)	2,48	2,51	2,10	1,95	2,08	2,12	2,17	2,28	2,24

5.1.5 : Tableau des résultats des essais à court terme

Ce tableau fait le résumé des différents essais réalisés plus haut.

Tableau 8 : résumé des essais à court terme

Bétons	BN1	BN2	BR1	BR2	BM1	BM2	BM3	BM4	BM5
Affaissement (cm)	7,2	7,4	5,5	6,1	6,5	6,4	6,9	6,7	6,8
Étalement Diamètre (mm)	410	415	345	350	385	380	400	385	405
Masse volumique (kg/l)	2,48	2,51	2,10	1,95	2,08	2,12	2,17	2,28	2,24
Compacité	1,90	1,60	1,15	1,10	1,36	1,40	1,42	1,35	1,45

5.2. Discussions

5.2.1. Figure de la comparaison de l'affaissement au cône d'Abrams (slump test) et étalement (flow test) du béton

L'étude comparative de la courbe de l'affaissement et celle de l'étalement montre une progression semblable des deux qualités du béton frais. Si l'affaissement est faible alors l'étalement aussi s'avère être faible.

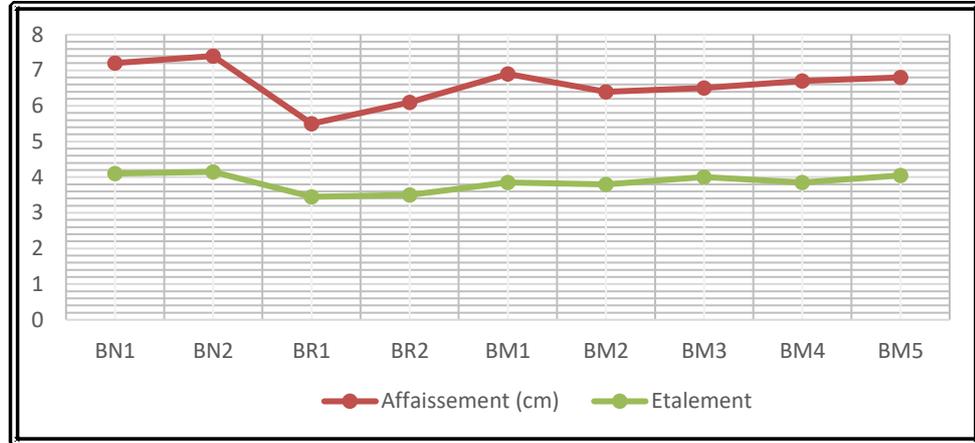


Figure 5 : comparaison des courbes d'affaissement et d'étalement

Et cette remarque est corroborée par les recherches de Dr NIGRI Ghania (2020) sur la relative corrélation entre l'affaissement et l'étalement.

L'étalement des bétons croît avec l'augmentation de l'affaissement comme l'indique le *figure 5* :

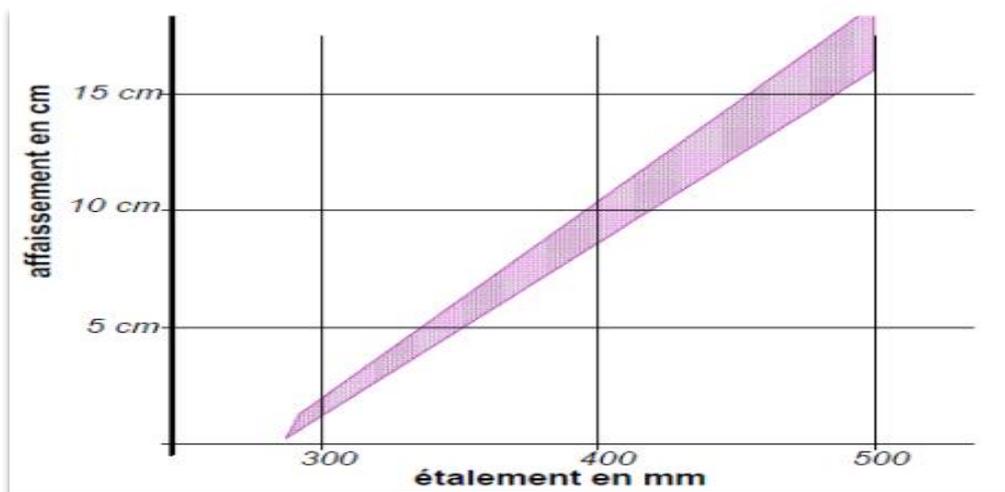


Figure 6: Relation entre l'affaissement et l'étalement au cône. [7]

Le processus irréversible d'hydratation est alors impliqué, mais il est aggravé lorsque l'état hydrique des GBR (sable ou gravillons) est supérieur ou proche de la saturation selon les recherches de REZEG SAFA (Juin 2022).

Cependant, certaines études, indiquent que les GBR totalement secs entraînent une perte d'affaissement significative, comparativement aux GBR pré-humidifiés et cela explique aisément car les granulats recyclés ont un taux d'absorption en eau plus élevé.

Mais les conditions expérimentales de ces travaux sont différentes de celles des présents travaux car nous avons utilisé ici des bétons sans adjuvants.

5.2.2 Figure montrant les affaissements

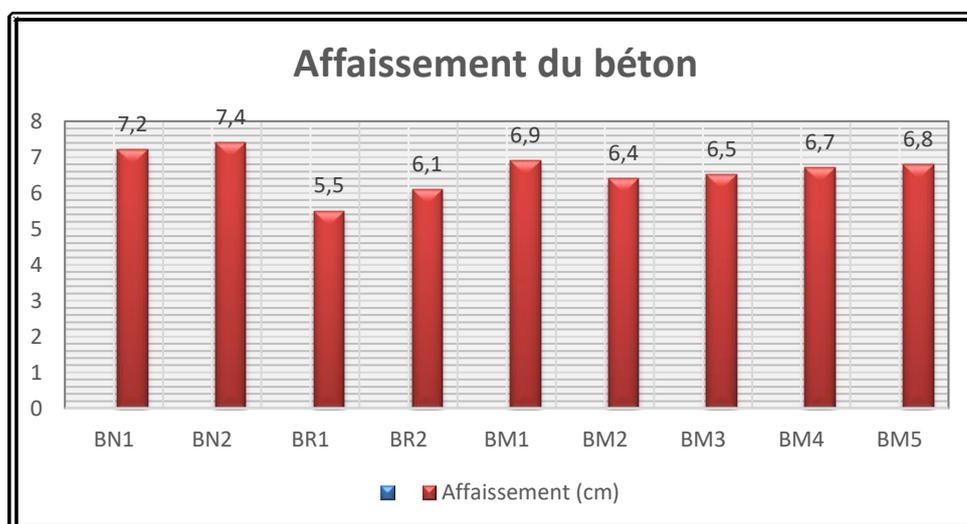


Figure 7 : : Affaissement des bétons

L'affaissement de béton comportent des granulats recyclés plus faible que l'affaissement de béton ordinaire pour un même rapport E/C. Cette baisse d'affaissement est causée par la grande absorption d'eau et l'angularité des granulats recyclés corroboré par la figure 6.

L'absorption d'eau élevée des granulats recyclés (GR et SR) affecte le comportement rhéologique du béton frais. Cette absorption est constatée dans les compositions à base de ces granulats (BR1, BR2). Pour s'affranchir de celle-là, une quantité d'eau supplémentaire est indispensable pour conserver une ouvrabilité plastique similaire. L'absorption est la conséquence de la

présence d'une structure alvéolaire de l'ancien mortier collé aux granulats recyclés.

La quantité d'air contenue dans le mélange de béton frais a une incidence à la fois sur l'ouvrabilité de ce dernier et sur les performances du béton à l'état durci. Une teneur en air accrue favorise l'ouvrabilité du béton frais.

On constate également que le béton BN2 est plus ouvrable que le béton BN1, cela est dû à la présence de granulats roulés dans le BN2 contrairement au béton BN1 constitué de granulats plus anguleux (plus résistant aux essais LA et MDE).

Pour les bétons fabriqués à base de granulats issus du retour de camion toupie, on remarque :

- ✓ BR1 issu de granulats GRRT est moins ouvrable que le BR2 fabriqués à bases de recyclés de béton
- ✓ BM3 issu de granulats GRRT est moins ouvrable que le BM1 fabriqués à bases de recyclés de béton
- ✓ BM4 issu de granulats GRRT est plus ouvrable que le BM2 fabriqués à bases du granulats naturels concassés.

Ces résultats montrent clairement que les bâtons fabriqués avec les GRRT sont moins ouvrables que ceux fabriqués avec les granulats issus du concassage des bétons (GRC) dans les mêmes conditions de fabrication. Cela peut s'expliquer par les formes des GRRT plus anguleuses.

Cependant les GRRT impactent positivement sur l'ouvrabilité plus que les bétons issus de GNC, ce phénomène dépend de plusieurs facteurs, plus particulièrement :

- ✓ Granulométrie, surtout pour les éléments finis.
- ✓ Angularité des constituants, granulats concassés ou non,
- ✓ Dosage en ciment,
- ✓ Emplois d'un plastifiant, tels que des superplastifiants
- ✓ Dosage en eau.

1 5.2.3. Figure de l'étalement (Flow test)

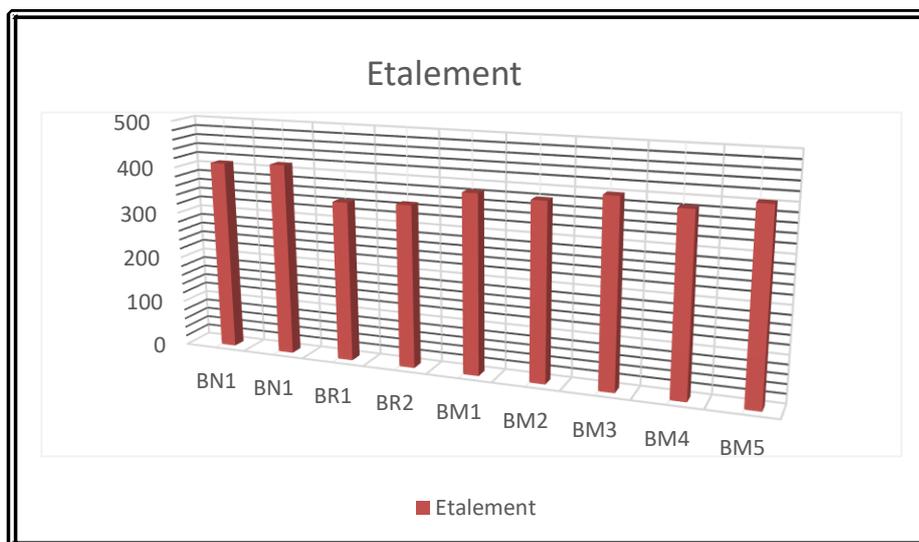


Figure 8 : Etalement des bétons

Le degré d'étalement est similaire à l'ouvrabilité des bétons comme l'indique la figure 5.

En effet, pour améliorer l'étalement, il est important d'augmenter la quantité d'eau de gâchage.

Il est à noter que la forte cohésion du béton réduit les risques de ségrégation, mais rend difficile le coulage dans les moules.

Lors de la fabrication des bétons de granulats recyclés, il est difficile de maintenir une ouvrabilité constante compte tenu de la grande absorption d'eau des granulats recyclés. Le sable recyclé est beaucoup plus néfaste pour un béton de qualité. Car étant très gourmand en absorption d'eau. Cependant :

- ✓ L'utilisation d'un superplastifiant permet de résoudre en partie les problèmes de confection et d'assurer une meilleure maniabilité.
- ✓ Un pré mouillage éventuel des granulats est nécessaire afin d'améliorer la mise en œuvre du béton
- ✓ L'ajout de ciment d'environ 50 kg/m³ par rapport aux bétons contenant du sable naturel permet d'atteindre la classe de résistance escompté.

2 5.2.4. Figure de la compacité

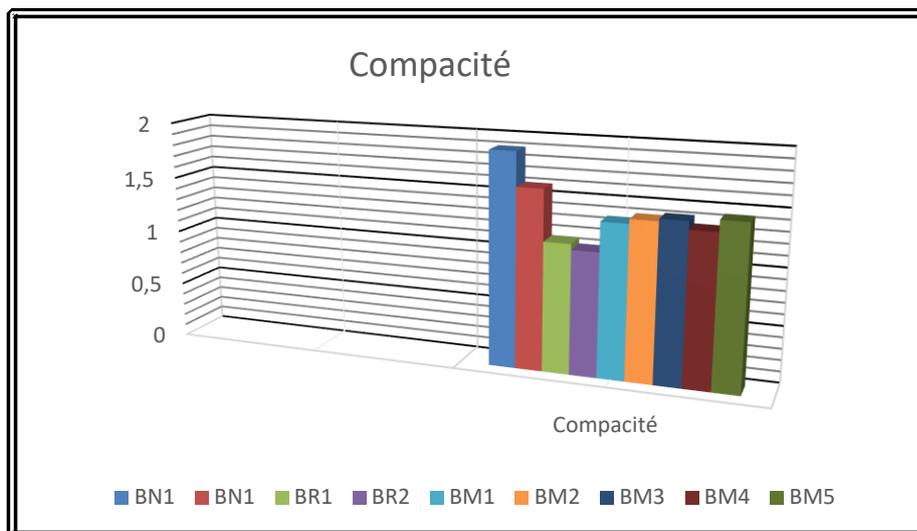


Figure 9: Compacité des bétons

Au regard de la figure 9 ci-dessus nous observons :

- ✓ Le béton BN1 est plus compact que le BN2 et tous les autres bétons fabriqués
- ✓ Les bétons de granulats naturels BN1 et BN2 ont une compacité plus élevée
- ✓ Les bétons BR1 et BR2 sont de faible compacité
- ✓ Les bétons mixtes sont pratiquement de compacités semblables

Le béton BN2 plus proches de BM1, BM2, BM3, BM4 et BM5. En revanche, la faiblesse de la compacité de BR1 et BR2 est dû aux formes plus anguleuses.

Pour avoir une compacité similaire des bétons, il faut :

- ✓ D'Améliorer les conditions de concassage des granulats recyclés
- ✓ D'augmenter le taux d'humidification

3 5.2.5. Figure de la masses volumiques

Les masses volumiques des bétons recyclés sont plus basses que celles des bétons naturels, puisque les granulats de base sont plus légers et donc les caractéristiques physiques et mécaniques différentes.

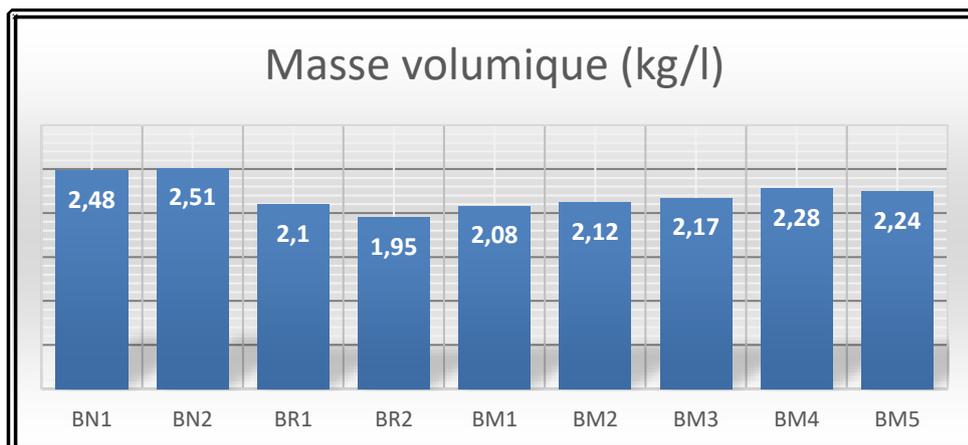


Figure 10 : Masses volumiques des bétons

A l'état frais, le béton recyclé présente des densités plus faibles en comparaison à celle du béton de référence (BN1, BN2) qui est due principalement aux caractéristiques intrinsèques des granulats recyclés.

- ✓ Lors de la confection des éprouvettes, nous avons constaté que les bétons recyclés étaient peu dense que le béton témoin (fabriqué à base de 100% de granulats naturels) comme indiqué par la figure 10. Ces bétons recyclés présentaient une forte ségrégation particulièrement ceux à base de briques concassées. A l'état frais, le béton recyclé présente des densités considérablement faibles que celles du béton de référence.
- ✓ La masse volumique du béton frais composé de granulats recyclés est légèrement inférieure à celle du béton fabriqué à partir de granulats naturels, car la teneur en air du béton à base de granulats recyclés est quelque peu supérieure à celle du béton ordinaire, en raison de la porosité des granulats.
- ✓ Le sable de GBR a une masse volumique plus faible que les gravillons de GBR. La diminution de la masse volumique est donc plus importante lorsque le sable est substitué. Par conséquent, les GBR pourraient être utilisés là où des bétons plus légers sont nécessaires, c'est-à-dire les ouvrages où le « poids mort » du béton, comme le cas des tabliers de ponts, des dalles.

6. CONCLUSION

Cette recherche donne les résultats obtenus, au sujet de l'effet de l'état hydrique des granulats recyclés (gravillons ou sable), en substitution aux granulats naturels, sur les propriétés du béton à l'état frais.

Les granulats naturels ont toujours été incorporés à l'état hydrique qui correspond à l'absorption (Ab).

L'affaissement initial (T0) qui a été visé est obtenu sur la majorité des états hydriques étudiés sans qu'il soit nécessaire de sur-doser avec du superplastifiant. La présence du superplastifiant dans un dosage permet de niveler les valeurs d'affaissement.

L'aptitude à l'écoulement impacter par l'incorporation de granulats recyclés lorsque leur état hydrique est loin du coefficient d'absorption mais au-delà de ce coefficient cela s'avère plus préjudiciable.

REFERENCES

- [1] **J.M. MECHLING, ERIC GARCIA-DIAZ, R. LAVAUD, ROMAIN TRAUCHESSEC, BOGDAN CAZACLIU (2020)** Caractérisation des granulats de béton recyclé.
- [2] **G. E. F. DREUX (2007)**, Nouveau guide du béton et de ses constituants., EYROLLES
- [3] **MELANIE SAMSON (2010)** La récupération des matériaux réutilisables et recyclables en Afrique
- [4] **M. NEVILLE (2000)**, PROPRIETES DES BETONS, Eyrolles
- [5] **LEFRANÇOIS DE LARRARD ET HORACIO COLINA (2018)** : béton recyclé
- [6] **MAMERY SERIFOU (2014)** Béton à base de recyclât : influence du type de recyclât et rôle de la formulation
- [7] **Luc COURARD**, Université de Liège, Belgique (2011) : Epuisement des ressources et construction durable
- [8] **MAMERY SERIFOU (2011)**. Béton à base de recyclât : influence du type de recyclât et rôle de la formulation ;

- [9] **TOUMI BELKACEM (2018)**. Etude de l'influence des hautes températures sur le Comportement du Béton.
- [10] **SAID AISSA, BOUGUERRA WALID (2018)** : Etude du comportement d'un béton compacté au Rouleau (BCR) à base des granulats recyclés
- [11] **PABLO PEÑA TORRES (2020)** : Modélisation du comportement à long terme des bétons de granulats recyclés
- [12] **BECHIR OUSSAMA (2019)** : Etude de la durabilité d'un béton à base de granulats recyclés
- [13] **ABDELLI NABILA, LAICHAOUI OUAHIBA (2018)** : durabilité du béton à base des déchets de démolition
- [14] **LAIFAOUI HADJER (2016)** Comportement des bétons à base des granulats de déchets de brique concassés sous différentes conditions de durcissement
- [15] **ELIANE KHOURY (2020)** Maîtrise de l'eau efficace dans les bétons de granulats recyclés
- [16] **DR NIGRI GHANIA (MCB) (2020)** Technologie du béton
- [17] **HACHEMI NADIR, BOUSSA ADEL (2017)** Influence des différentes granulométries du sable sur le comportement mécanique du béton
- [18] **J. VRIJDERS (CSTC) – L. DE BOCK (CRR) (2019)** Utilisation de granulats de béton recyclés dans le béton sollicitations chimiques.
- [19] **Eliane Khoury (2020)** Maîtrise de l'eau efficace dans les bétons de granulats recyclés