
Contribution à l'étude du comportement des couches d'assises renforcées par des matériaux recyclés

Hocine HADIDANE¹, Hocine OUCIEF², Mouloud MERZOU², Layachi BERREDJEM³, Djamel BOUTAGOUGA³

^{1,2,3}. Laboratoire Matériaux Géo-matériaux et Environnement (Université Badji Mokhtar Annaba 23000)

hocinehadidane@hotmail.fr
oucief@yahoo.fr
merzoud_mouloud@yahoo.fr
d.boutagouga@yahoo.fr

RÉSUMÉ. L'activité de construction génère d'une part, l'épuisement des gisements naturels de granulats qui imposent de chercher des nouvelles sources d'approvisionnement, et d'autre part, l'accumulation des quantités des déchets de construction, qui peuvent être estimées à des millions de tonnes par an dans les pays du monde notamment en Algérie. Le recyclage de ces matériaux déjà engagé dans le secteur des travaux publics est la solution la plus prometteuse.

Le recyclage de l'ancien matériau offre de multiples avantages sur le plan environnemental : une économie de matériaux naturels, une forte diminution du trafic de poids lourds qui transportent ces matériaux et ainsi une grande économie d'énergie.

Ce travail constitue une contribution expérimentale à l'étude de la durabilité des différents matériaux provenant de la démolition du bâtiment (béton, brique et parpaing) en vue de leur utilisation dans les infrastructures des chaussées souples.

Les résultats obtenus sont extrêmement encourageants pour l'incorporation de ces matériaux recyclés dans le corps de chaussées.

ABSTRACT. The activity of construction generates on the one hand, the exhaustion of the natural aggregate which force to seek new sources of provisioning, on the other hand, the accumulation of the quantity of waste of construction, which can be estimated at million tons per annum in the countries of the world in particular in Algeria, the recycling of these materials already engaged in the sector of public works is the most promising solution.

The recycling of material offers multiple benefits for the environment: a saving of natural materials, decrease trucks transporting materials and so a large energy saving.

This work constitutes an experimental contribution to the study of the durability of various materials coming from the demolition of the building (concrete, brick and breeze block) for their use in the infrastructures of the flexible pavements.

The results obtained are extremely encouraging for incorporation of these recycled materials, in the body roads.

MOTS-CLÉS : béton, brique, parpaing, recyclage, caractérisation, environnement.

KEY WORDS: concrete, brick, breeze block, recycling, characterization, environment.

1. Introduction

Chaque année les activités du Bâtiment et des Travaux Publics produisent plus de 100 millions de tonnes de matériaux de démolition et de déblais, qui dans le cas général sont des déchets inertes. Leur réutilisation dans un contexte d'économie de la ressource naturelle a vite été considérée comme une priorité pour les acteurs des Travaux Publics : maîtrises d'ouvrage, maîtrises d'œuvre, entreprises de BTP, carriers.... l'utilisation de tels matériaux dits recyclés offre plusieurs avantages :

-Économie des ressources naturelles de granulats, réduction des volumes de stockage des déchets inertes,

Économie de transports.

Ces matériaux granulaires recyclés sont issus de chantiers de démolition de BTP, dits « bétons et produits de démolition recyclés » ou « grave recyclée ». Ils peuvent se substituer aux matériaux naturels en techniques routières à l'issue d'un processus d'élaboration spécifique.

Les matériaux issus du recyclage peuvent, selon leurs caractéristiques, être considérés comme des matériaux de terrassement, ou comme des granulats pour chaussée. Pour cela ils doivent satisfaire aux exigences d'élaboration et de définition de leur « gisement », terme originellement utilisé pour les matériaux naturels. [1]

L'objectif de Cette étude expérimentale est d'étudier le comportement mécanique et la durabilité des matériaux recyclés utilisés en couches d'assises des chaussées souples, et d'analyser les phénomènes et les mécanismes qui se produisent à travers : la nature des granulats de recyclage, la granulométrie, l'état de compacité des matériaux.

2. Catégories de granulats de recyclage

Les produits de recyclage sont de natures différentes allant de graves non calibrées aux granulats classés tels que sables et gravillons.

On peut définir cinq Graves de Recyclage, GR0 à GR4 (tableau1). Leur caractérisation est faite à partir des normes NF P 11-300 [2], XP P 18-545 [3], NF EN 13242 [4] et NF EN 13285 [5].

Tableau 1. Caractéristique des graves de recyclage. [1][6]

Référence à la norme	NF P 11-300		XP P 18-540 et NF P 98-129 (GNT A)		
	F 72	F 71			
Catégories de graves de recyclage.	GR0	GR1	GR2	GR3	GR4
Granularité	Non calibré	0/D D ≤ 80 mm	0/D D ≤ 31,5 mm	0/D D ≤ 20 mm	0/D D ≤ 20 mm
Dureté	Non spécifié	LA ≤ 45 MDE ≤ 45	LA ≤ 45 MDE ≤ 45 LA+MDE ≤ 80	LA ≤ 40 MDE ≤ 35 LA+MDE ≤ 65	LA ≤ 35 MDE ≤ 30 LA+MDE ≤ 55
Propreté	Non spécifié	ES non spécifié	ES ≥ 50	ES ≥ 50	ES ≥ 50
Teneur en Sulfate	Selon utilisation	≤ 0,7%	≤ 0,7%	≤ 0,7%	≤ 0,7%

3. Domaines d'emploi

Les matériaux définis ci-dessus peuvent être utilisés en constructions routières pour réaliser les remblayages divers, les couches de forme et les assises de chaussées.

3.1 Les graves GR0

Ces graves peuvent contenir une petite proportion de plâtre qui vise à dégrader la fragmentabilité du matériau. Elles sont inutilisables en couche de forme mais leur emploi est possible en remblai.

3.2 Les graves GR1

Comme les graves GR0 cette catégorie peut être employée dans les remblais et les couches de forme en particulier lorsque les graves GR0 ne peuvent pas être utilisées.

3.3 Les graves GR2, GR3 et GR4

Leur emploi en assises de chaussées est possible, soit sous forme de graves non traitées soit après traitement aux liants hydrauliques. Les spécifications relatives aux possibilités ou aux conditions d'emploi de ces graves sous forme brute sont données dans le tableau 2 en fonction de la position de la couche dans l'assise (fondation ou base) et de l'intensité du trafic selon les classes de trafic.

Tableau 2. *Domaine d'emploi des graves de recyclage non traités. [1][6]*

Usages	Classes de trafic		
	$\leq T4$	$\leq T3+$	$\leq T3-$
Couche de fondation	GR2	GR3	GR3
Couche de base	GR2 ($D \leq 20$)	GR3	GR4

4. Méthodologies Expérimentales

Dans cette partie expérimentale nous avons procédé à une identification complète des matériaux pour la détermination de leurs caractéristiques physiques et géotechniques puis nous avons procédé à la réalisation des essais destinés à étudier les caractéristiques mécaniques des granulats.

4.1 Description des échantillons

Nous avons ramené des blocs de béton, de brique et de parpaings issus d'une démolition d'une vieille construction.

Ces blocs, en leur état initial, contiennent des impuretés de toute nature (le fer, le bois, le plastique, le sol). Nous avons donc procédé à l'enlèvement de toutes les substances non désirées qui peuvent polluer et affecter les caractéristiques des granulats produits.

Les blocs ont été soumis au concassage afin d'obtenir les différentes classes granulaires dont la dimension maximale des gros grains est de 31,5 mm.

Après le concassage des blocs, les granulats produits ont été soumis au séchage à l'étuve à la température de 105 °C, ensuite nous avons réalisé une série d'essais d'identification.

4.2 Propriétés physiques des matériaux utilisés

Conformément à la norme (NF EN 1097-6 + A1) [7], les propriétés physiques essentielles obtenus pour les trois matériaux sont donnés dans le tableau 3.

Tableau 3. *Propriétés physiques des trois échantillons.*

Débris de :	béton	brique	parpaing
Masse volumique du solide γ_s (g/cm ³)	2,56	2,21	2,39
Masse volumique humide	1,50	1,01	1,49

γ_h (g/cm ³)			
Masse volumique sèche γ_d (g/cm ³)	1,73	1,45	1,73
L'indice des vides e (%)	67	89	74
Teneur en eau W (%)	0,91	0,18	1,36
Degré de saturation S_r (%)	3,18	0,51	5,16
La porosité n (%)	42,03	49,2	40,33
La densité relative D_r (%)	56,74	26,2	52,41

4.3 Analyse granulométrique (NF EN 933-1) [8]

Les résultats obtenus sont donnés par la courbe granulométrique de la figure 1, et le tableau 4.

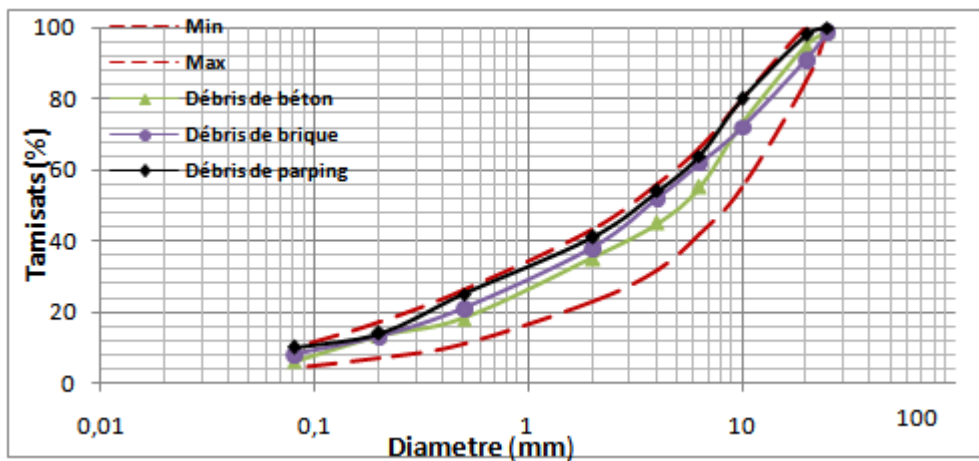


Figure 1. Courbes granulométriques des trois échantillons

Les caractéristiques granulométriques obtenues montrent que les trois échantillons ont une granulométrie étalée, cela nous a permis de choisir toutes les classes granulométriques que nous avons utilisé par la suite.

4.4 Equivalent de sable NF EN 933-8 [9]

Les résultats obtenus pour les trois matériaux donnés par le tableau 4.

Tableau 4. Caractéristiques granulométrique et équivalent de sable des trois échantillons.

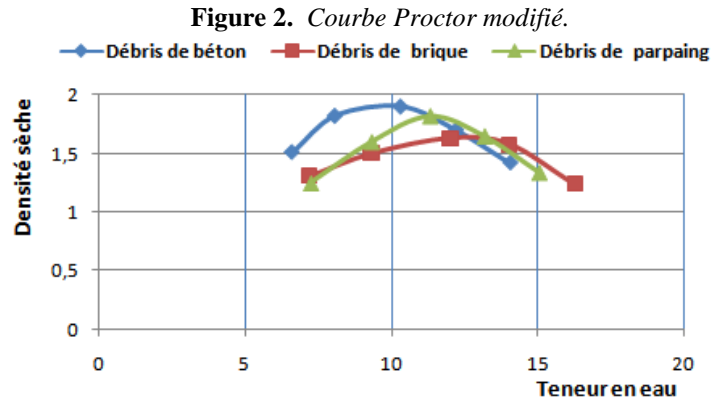
débris de :	béton	brique	parpaing
Coefficient d'uniformité C_u	187,5	120	150
Coefficient de courbure C_c	2,13	1,4	9,38
Equivalent de sable E_S	90,9	94,44	87,83

Les résultats nous ont permis de dire que les matériaux étudiés sont dits non plastiques et ne contiennent pas de fines argileuses.

5. Essais Mécaniques

5.1 Essai PROCTOR NF P94 093[10]

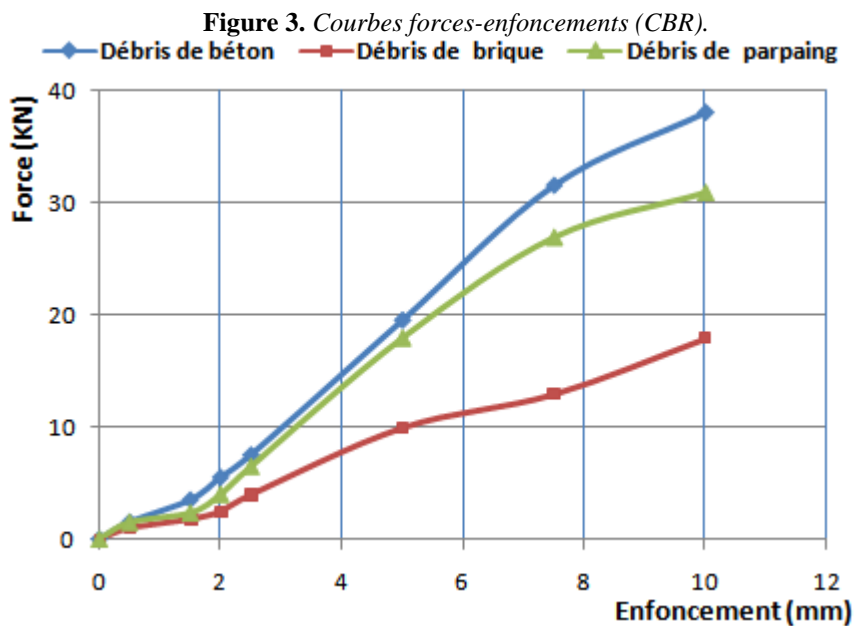
Cet essai consiste à déterminer, pour un compactage normalisé d'intensité donnée, la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale. Les essais sont réalisés au moule CBR avec la dame du Proctor modifié. Les résultats de ces essais sont donnés par la figure 2.



5.2 Essai C.B.R (NFP 94-078) [11]

L'indice CBR est le résultat d'un essai mécanique permettant de caractériser la portance d'un sol. Il est déterminé à partir de la mesure de l'enfoncement d'une pointe normalisée dans un échantillon compacté à l'énergie Proctor. Plus cet indice est élevé, meilleur est le comportement du sol.

Les résultats de ces essais sont donnés par la figure 3.



5.3 Interprétation des résultats

Dans notre étude, les courbes Proctor obtenues (figure 2) ont une allure aplatie, cela s'explique par le fait que nos matériaux sont peu sensibles à l'eau.

Les trois échantillons présentent des valeurs de densité sèche maximales rapprochées et avoisinante de 2 % ce qui caractérise une bonne compacité, néanmoins l'échantillon de brique présente une densité légèrement petite par rapport à celle des deux autres échantillons, cela s'explique par le poids léger de ce matériau, ainsi que la forme particulière de ses grains.

Quant à la teneur en eau optimale, elle est plus élevée pour cet échantillon, ce qui montre que les débris de brique absorbent une quantité importante d'eau pour obtenir une meilleure compacité de ce matériau. Il est clair que les débris de béton présentent les meilleures caractéristiques au compactage. [12]

6. Essais de durabilité

Pour étudier la dureté et la durabilité des granulats et déterminer leurs caractéristiques mécaniques nous avons procédé à la réalisation d'une série d'essais qui contient :

6.1 Essai Los Angeles (NF EN1097-2 §5) [13]

Cet essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs des boulets et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat.

6.2 Essai Micro Deval (NF EN 1097-1) [14]

Cet essai permet de mesurer la résistance des granulats à l'usure par frottement, Les résultats des deux essais sont donnés dans le tableau 5.

Tableau 5. *Essais Los – Angeles, et Micro – Deval*

Essai	Los Angeles(%)	Micro Deval (%)
Débris de béton	32	29
Débris de brique	18	17
Débris de parpaing	37	31

6.3 Essai de fragmentabilité

L'essai de fragmentabilité selon la norme NF P 94-066 [15] permet d'apprécier et de mesurer la sensibilité d'un matériau rocheux à se fragmenter sous la sollicitation des engins de terrassements. L'essai se traduit par le coefficient de fragmentabilité FR.

6.4 Essai de dégradabilité

L'essai consiste à déterminer la réduction du D10 d'un échantillon de 2 kg d'une fraction de 10/20, soumis à quatre cycles imbibition- séchages (cycle climatique) conventionnels (Norme NF P 94-067) [16]. Les durées de séchage et d'immersion sont respectivement 8h et 16h. Après les quatre cycles de 24h, L'échantillon est soumis à une analyse granulométrique complète. D'après la norme NF P18-576 [17]: L'essai se traduit par le coefficient de dégradabilité DG.

6.5 Essai d'altérabilité

L'essai selon la norme NF EN 1367-1[18], consiste à déterminer la réduction du D10 d'un échantillon de 1 kg d'une fraction de 10/20, soumis à cinq cycles imbibition- séchages conventionnels. Les durées de séchage et d'immersion sont respectivement 8h et 16h. L'essai se traduit par le coefficient d'altérabilité AL.

Les résultats obtenus pour ces trois essais sont regroupés dans le tableau 6.

Tableau 6. *Tableau récapitulatif des différents essais de dégradation.*

Essai	Fragmentabilité	Dégradabilité	Altérabilité
Débris de béton	6,53	1,25	1,1
Débris de brique	2,9	1,15	1.03
Débris de parpaing	7,48	1,31	1,27

6.6. Interprétation des résultats

On constate une corrélation d'un aspect particulier entre les essais de dureté et de durabilité, en effet les matériaux présentant les résistances mécaniques les plus élevées sont les matériaux les plus résistants à l'action de l'eau, ce sont les matériaux ayant la compacité la plus forte.

La résistance mécanique des granulats dépend essentiellement des forces de liaisons interparticulaires et assez peu de la dureté des particules. Le parpaing est caractérisé par une résistance médiocre au choc et à la fragmentation dynamique, ces essais font donc intervenir la notion de fragilité qui caractérise ce matériau, elle est due à sa structure très poreuse et à son hétérogénéité. [12]

7. Conclusion

Les résultats obtenus sur ces matériaux dont les performances sont considérables par rapport aux granulats naturels de point de vu de dureté et durabilité, résistances et épaisseurs des couches, dont son utilisation dans le domaine routier permis de recycler ces déchets industriels, de diminuer la pollution et d'utiliser un minimum de produits nobles nécessitant une énergie d'exploitation importante et une économie sur les couches de surface réalisées avec des matériaux onéreux (bétons bitumineux).

8. Bibliographie

- [1] IDRRIM Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité N°22 - CLASSIFICATION ET AIDE AU CHOIX DES MATERIAUX GRANULAIRES RECYCLES - FEVRIER 2011 PAGE 3 ET 8.
- [2] AFNOR – NF P 11-300 - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières – septembre 1992
- [3] AFNOR – XP P 18-545 – Granulats – Eléments de définition, conformité et codification – mars 2008
- [4] AFNOR – NF EN 13242+A1 – Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées – mars 2008
- [5] AFNOR – NF EN 13285 – Graves non traitées – spécifications – décembre 2010
- [6] SERIFOU MAMERY. Thèse de doctorat Le 23 DECEMBRE 2013 .page 26. Béton à base de recyclats : influence du type de recyclats et rôle de la formulation L"UNIVERSITE BORDEAUX 1. 191p
- [7] NF EN 1097-6 + A1 2006 Mesure des masses volumiques, porosité, coefficient d'absorption et teneur en eau des gravillons et cailloux
- [8] NF EN 933-1 Mai 2012 Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage –
- [9] NF EN 933-8 Mars 2012 Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable -

- [10] NF P94-093 Octobre 2014 : Sols : reconnaissance et essais - Détermination des références de compactage d'un matériau
- Essai Proctor Normal - Essai Proctor modifié -
- [11] NFP 94-078 Mai 1997, Graves traités Indice CBR après immersion – indice CBR immédiat – indice portant immédiat.
Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR. - Essais CBR,
- [12] Fazia BOUDJEMIA.memoire de magister .ETUDE DE LA DURABILITE DES MATERIAUX RECYCLES
- [13] NF EN1097-2 §5 2010 Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats Partie 2 :
Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation (Los Angeles)
- [14] NF EN 1097-1 2011 Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats Partie 1 :
Détermination de la résistance à l'usure (micro-Deval)
- [15] NF P 94-066 Décembre 1992 Sols - reconnaissance et essais Coefficient de fragmentabilité des matériaux rocheux
- [16] NF P94-067 Décembre 1992 Sols : reconnaissance et essais - Coefficient de dégradabilité des matériaux rocheux
- [17] NF P18-576 Février 2013 Granulats - Détermination du coefficient de friabilité du sable
- [18] NF EN 1367-1 Août 2007 Essais de détermination des propriétés thermiques et de l'altérabilité des granulats - Partie 1 :
détermination de la résistance au gel-dégel -