

CONTRIBUTION A L'ETUDE DU COMPORTEMENT DES COUCHES D'ASSISES RENFORCEES PAR DES MATERIAUX RECYCLES

IMPROVING THE BEHAVIOR OF BODY ROADS BY THE USE OF RECYCLED MATERIALS

Hocine HADIDANE¹, Hocine OUCIEF², Mouloud MERZOUZ³, Ayachi BERREDJEM⁴
^{1.2.3.4}Laboratoire MGE, Université Badji Mokhtar-Annaba, BP 12 Annaba 23000, Algérie

RÉSUMÉ – L'activité de construction génère d'une part, l'épuisement des gisements naturels de granulats, d'autre part, l'accumulation de la quantité des déchets de construction, qui peuvent être estimée à des millions de tonnes par an dans les pays du monde notamment en Algérie. 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 chaussée.

ABSTRACT – The activity of construction generates on the one hand, the exhaustion of the natural aggregate layers 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.

Using recycled materials, beyond the economic interest that it provides, presents other advantage such as the preservation of natural resources.

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 primary results obtained are extremely encouraging for maximum incorporation of recycled materials, in the body roads

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'oeuvre, entreprises de BTP, carriers.... l'utilisation de tels matériaux dits recyclés offre plusieurs avantages :

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 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, XP P 18-545, NF EN 13242 et NF EN 13285. [2] [3] [4] [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 limiter 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 gravés de recyclage non traités. [1][6]

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

4. METHODOLOGIES EXPERIMENTALES

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 γ_h (g/cm ³)	1,73	1,45	1,73
Masse volumique sèche γ_d (g/cm ³)	1,50	1,01	1,49
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 Dr (%)	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.

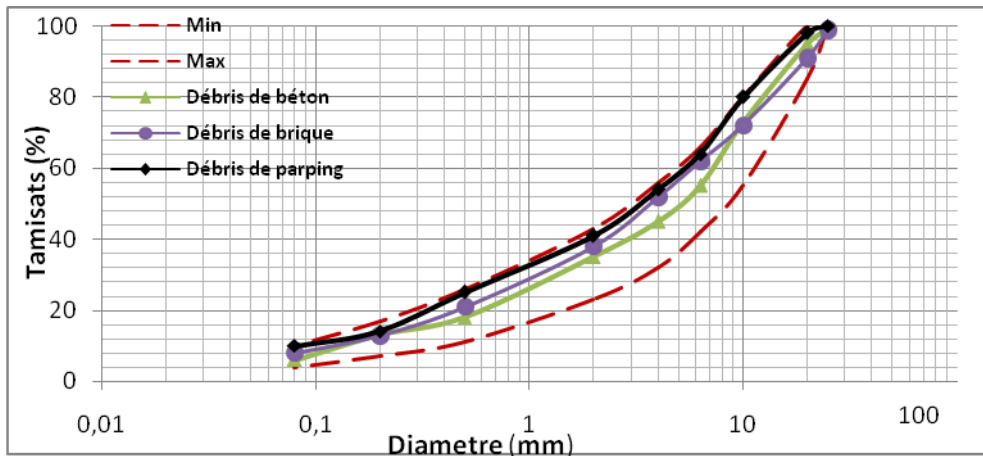


Figure 1. Courbes granulométriques des trois échantillons

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 Cu	187,5	120	150
Coefficient de courbure Cc	2,13	1,4	9,38
Equivalent de sable ES	90,9	94,44	87,83

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

5. ESSAIS MECANIQUES

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 et la dame du Proctor modifié, Les résultats de ces essais sont donnés par la figure 2.

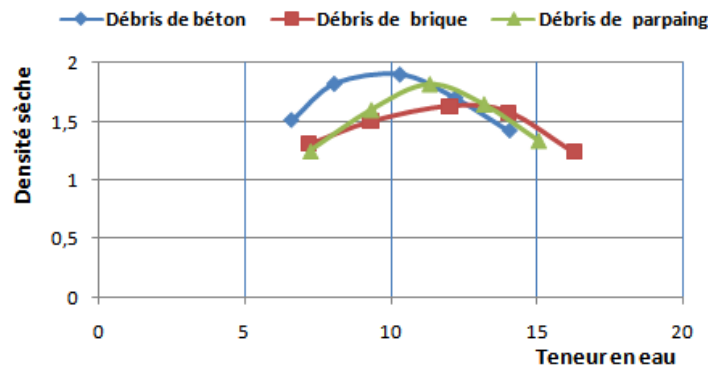


Figure 2. Courbe Proctor modifié.

5.2. Essai C.B.R (CALIFORNIAN BEARING RATIO) (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.

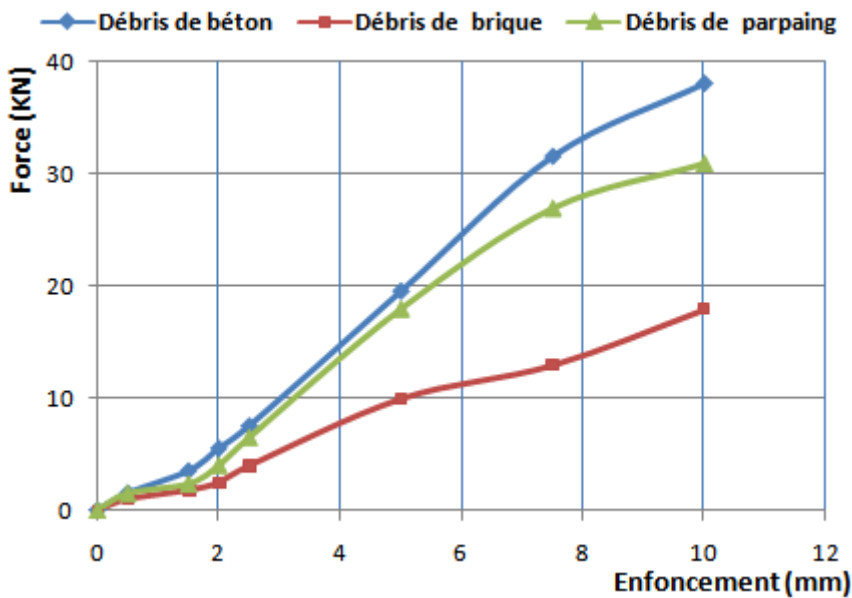


Figure 3 : Courbes forces-enfoncements (CBR).

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 humide maximales rapprochées et avoisinante de 2 % (valeur recommandée par le guide des terrassements routier GTR) 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.

L'indice CBR est une caractéristique qui dépend de l'énergie de compactage, de la nature du matériau et de sa teneur en eau. De nombreuses recherches ont montré que l'indice CBR croît avec l'augmentation de l'énergie de compactage. Il est d'autant meilleur que la teneur en eau est optimale. [12]

Les résultats trouvés indiquent une portance satisfaisante de nos matériaux, pour leur utilisation dans le corps de chaussée. Il est évident que les débris de brique présenteront une portance moins élevée par rapport aux deux autres échantillons, du fait qu'ils présentent une mauvaise compacité.

6. ESSAIS DE DURETE ET DE DURABILITE

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.

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.

L'échantillon de brique est caractérisé par une forte résistance au choc, à l'usure et à la fragmentation dynamique, cela est dû à la dureté de ce matériau sachant qu'il est produit à des pressions et des températures très élevées.

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

A travers tous les essais effectués on constate un lien direct entre la résistance mécanique, la dureté et la durabilité des matériaux étudiés. En effet, les débris de brique dont les granulats sont relativement durs présentent une meilleure réponse aux cycles du point de vue résistance mécanique et durabilité. De même, les débris de parpaing dont les granulats sont relativement tendres, présentent la plus faible résistance et des taux d'écrasement les plus importants, c'est donc le matériau le moins durable.

Les résultats obtenus sur ces matériaux dont les performances sont considérables par rapport aux granulats naturels de point de vue 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).

5. Références bibliographiques

- [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] Guides Techniques et Études Générales Élaborés par le CTTTP, Ministère des travaux publics Algérie.

- [3] A. Boudjelli, "Utilisation du Laitier en Technique Routière," Séminaire de Génie Civil, Annaba, 1998, pp. 56- 60.
- [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] RIZZI (National Directorate of coproduces steel "COPROSID") Valuation and marketing of by-products of the steel complex of EL-HADJAR 2014
- [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] BOUDJEMIA F., MELBOUCI B., « Etude des déformations permanentes sous chargements répétés des matériaux granulaires non traités », Premier Symposium Méditerranéen de Géoengineering SMGE09, Alger, 20-21 juin 2009, Algérie , p. 334-341.
- [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 Mai1997, 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] NGUYEN V., H., Effects of laboratory mixing methods and RAP materials on performance of hot recycled asphalt mixtures, 2009, Nottingham.
- [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 2007Essais de détermination des propriétés thermiques et de l'altérabilité des granulats - Partie 1 : détermination de la résistance au gel-dégel -