

RECYCLAGE DES GRANULATS DE DEMOLITION (BRIQUE ET BETON) DANS LES CORPS DE CHAUSSEES

O. Boudlal & B. Melbouci : Laboratoire de Géomatériau, Environnement et Aménagement (LGEA), Faculté du génie de la construction, Département de génie civil, Université Mouloud Mammeri, de Tizi-Ouzou, BP N°17 RP 15000 Tizi-Ouzou.

Reçu : le 29/06/09

Accepté : le 12/12/09

Résumé : La protection de l'environnement révèle d'une importance capitale ces dernières années. Les déchets ménagers et les déchets industriels stockés dans des décharges illégales ou même légales sont généralement incinérés ou enfouis avec pour conséquences des effets néfastes sur l'environnement (pollution de l'air, pollution de la nappe, altération des paysages...). Le recyclage des déchets des bétons de démolition peut présenter des avantages et des solutions très intéressantes pour préserver l'environnement et doit être considéré comme une source supplémentaire importante de granulats.

Nous avons donc étudié le comportement des granulats de béton avec des ajouts de brique de différentes dimensions soumis à plusieurs sollicitations voire essais Proctor, CBR et cisaillement direct à la boîte de Casagrande. Les résultats obtenus sont ensuite comparés à ceux des granulats naturels soumis aux mêmes types d'essais.

Mots clés : Recyclage, débris, démolition, Proctor, CBR, cisaillement.

Abstract: In those recent years, the protection of the environment is of principal importance. The household waste and industrial waste stored in illegal landfills or even in legal landfills are usually cremated or buried with the destructive effects on the environment (air pollution, groundwater pollution, alteration of landscapes ...). The recycling of concrete demolition can present many advantages and interesting solutions to preserve the environment and should be considered an important additional source of aggregate. Therefore, we studied the behavior of concrete aggregates with different sizes of additional brick, subjected to different tests (Proctor, CBR and direct shearing test). The results are then compared to those obtained with natural aggregates subjected to the same tests.

Keywords: Recycling, debris, demolition, Proctor, CBR, shear.

1. INTRODUCTION

En plus des catastrophes naturelles, (séismes, vents, inondations,...), les différentes activités de génie civil (construction, démolition, réhabilitation...), engendrent des quantités très importantes de débris constitués principalement (70%) de béton et de brique. Ces débris sont souvent orientés vers l'enfouissement ou l'incinération, quand ceci est possible dans des décharges légales ou même illégales. Pourtant le secteur de génie civil souffre d'une insuffisance très apparente de granulats et les carrières restent parfois incapables de satisfaire les besoins industriels notamment dans le cas des grands projets (routes, barrage,...etc).

Ainsi, le recyclage se présente comme solution adéquate (L'Arrêté du 16 mars Bruxelles, 1995), d'une part, il permet de se débarrasser des différents débris tout en préservant

l'environnement et d'autre part, le recyclage peut être considéré comme une source supplémentaire de granulat, surtout que les granulats de recyclage présentent généralement trois avantages majeurs :

- Economie du transport (économie en temps et argent) car les installations de recyclage sont souvent placées à proximité des chantiers ;
- Economie des décharges ;
- Economie des carrières notamment des gisements alluvionnaires.

D'ailleurs, plusieurs travaux sur le recyclage des matériaux de construction et démolition ont fait l'objet de beaucoup de projets de recherche, notamment ceux de Quebaud et al (1996) et de Canale (1999).

L'objectif de cette étude est de mettre fin ou du moins limiter l'opération de décharge pour ce type de matériaux et de la remplacer par l'opération de recyclage. Ainsi, nous avons choisi de recycler les débris de construction et

démolition (brique et béton) en vue de leur réutilisation dans le domaine routier en particulier dans les couches de fondations et de base. Pour ce faire, nous avons d'abord identifié ces débris, ensuite pour mieux connaître leur comportement mécanique sous différentes sollicitations, nous avons soumis les échantillons préparés aux essais Proctor, CBR et cisaillement direct à la boîte de Casagrande. Les résultats obtenus sont présentés au fur et à mesure dans ce qui suit.

2. ESSAIS D'IDENTIFICATION

Les débris de béton utilisés dans cette étude sont triés, concassés et tamisés. Les caractéristiques physiques déterminées au laboratoire sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des granulats recyclés (Granulats de béton).

Caractéristiques déterminées	Moyenne
Teneur en eau naturelle : w (%)	2,40
Masse volumique des grains solides : ρ_s (g/cm ³)	2,62
Masse volumique sèche : ρ_d (g/cm ³)	1,76
Masse volumique humide : ρ_h (g/cm ³)	1,80
Indice des vides : e (%)	49
Porosité : n (%)	33
Degré de saturation : S_r (%)	1,5
Limites d'Atterberg : w_L , w_p et I_p (%)	Non mesurables

Pour ce qui concerne le critère de dureté ; essais Los-Angeles (LA) et Micro-Deval en présence d'eau (MDE), on utilisera la classe E+ de la norme XPP 18-540 (Destombes et al 2003) qui donne les conditions suivantes (LA inférieur ou égal à 40, MDE inférieur ou égal à 35, LA+MDE inférieur ou égal à 65). Les résultats obtenus montrent que LA est égal à 31 et MDE est égal à 34. Ceci vérifie les conditions prescrites par la norme utilisée.

Les graves relevant de ce classement ont des domaines d'emploi étendus par rapport aux matériaux de classe E. En particulier, elles peuvent être utilisées dans des couches de chaussées sous des trafics plus lourds.

La brique utilisée dans cette étude est prélevée du même site que les débris de béton, elle est fabriquée à base d'argile avec une faible proportion de tuf.

Après identification, les échantillons formés par la classe granulaire (0/16) avant et après les différents ajouts de briques sont ensuite soumis aux différents essais mécaniques cités ci-avant.

3. ESSAIS PROCTOR MODIFIÉ

La première série d'essai consiste à compacter les mélanges de granulats de béton et de brique selon le processus du Proctor modifié.

3.1. Préparation des échantillons

Nous avons choisi deux procédés pour la préparation des échantillons, ceci nous a permis l'incorporation de la brique de deux façons différentes dans la classe granulaire (0/16) des granulats de béton.

3.1.1. Le premier procédé : consiste à extraire à chaque fois les grains de béton de dimension (4mm, 2mm ou ceux inférieurs à 0,08mm) de la classe granulaire (0/16) et de les remplacer par des grains de brique de mêmes dimensions. Les échantillons préparés par cette première méthode sont les suivants :

- Granulats de béton + Brique < 0,08 mm (rempl)
- Granulats de béton + Brique < 2 mm (rempl)
- Granulats de béton + Brique < 4 mm (rempl)

Remarque : le mot (rempl) veut dire que les granulats de béton de dimension citée juste avant ce mot sont remplacés par des grains de brique de même dimension.

3.1.2. Le deuxième procédé : consiste à faire des ajouts de 5 et 10% de brique de différentes dimensions à la classe granulaire (0/16) des granulats de béton.

Les échantillons préparés par cette deuxième méthode sont les suivants :

- Granulats de béton + (5% et 10%) Brique < 0,125 mm
- Granulats de béton + (5% et 10%) Brique < 0,5 mm
- Granulats de béton + (5% et 10%) Brique < 2 mm

RECYCLAGE DES GRANULATS DE DEMOLITION (BRIQUE ET BETON) DANS LES CORPS DE CHAUSSEES

O. Boudlal & B. Melbouci : Laboratoire de Géomatériau, Environnement et Aménagement (LGEA), l'Université du génie de la construction, Département de génie civil, Université Mouloud Mammeri, de Tizi-Ouzou, BP N°17 RP 15000 Tizi-Ouzou.

Reçu : le 29/06/09

Accepté : le 12/12/09

Résumé : La protection de l'environnement révèle d'une importance capitale ces dernières années. Les déchets ménagers et les déchets industriels stockés dans des décharges illégales ou même légales sont généralement incinérés ou enfouis avec pour conséquences des effets néfastes sur l'environnement (pollution de l'air, pollution de la nappe, altération des paysages...). Le recyclage des déchets des bétons de démolition peut présenter des avantages et des solutions très intéressantes pour préserver l'environnement et doit être considéré comme une source supplémentaire importante de granulats. Nous avons donc étudié le comportement des granulats de béton avec des ajouts de brique de différentes dimensions soumis à plusieurs sollicitations voire essais Proctor, CBR et cisaillement direct à la boîte de Casagrande. Les résultats obtenus sont ensuite comparés à ceux des granulats naturels soumis aux mêmes types d'essais.

Mots clés : Recyclage, débris, démolition, Proctor, CBR, cisaillement.

Abstract: In those recent years, the protection of the environment is of principal importance. The household waste and industrial waste stored in illegal landfills or even in legal landfills are usually cremated or buried with the destructive effects on the environment (air pollution, groundwater pollution, alteration of landscapes ...). The recycling of concrete demolition can present many advantages and interesting solutions to preserve the environment and should be considered an important additional source of aggregate. Therefore, we studied the behavior of concrete aggregates with different sizes of additional brick, subjected to different tests (Proctor, CBR and direct shearing test). The results are then compared to those obtained with natural aggregates subjected to the same tests.

Keywords: Recycling, debris, demolition, Proctor, CBR, shear.

1. INTRODUCTION

En plus des catastrophes naturelles, (séismes, vents, inondations,...), les différentes activités de génie civil (construction, démolition, réhabilitation,...), engendrent des quantités très importantes de débris constitués principalement (70%) de béton et de brique. Ces débris sont souvent orientés vers l'enfouissement ou l'incinération, quand ceci est possible dans des décharges légales ou même illégales. Pourtant le secteur de génie civil souffre d'une insuffisance très apparente de granulats et les carrières restent parfois incapables de satisfaire les besoins industriels notamment dans le cas des grands projets (routes, barrage,...etc).

Ainsi, le recyclage se présente comme solution adéquate (L'Arrêté du 16 mars Bruxelles, 1995), d'une part, il permet de se débarrasser des différents débris tout en préservant

l'environnement et d'autre part, le recyclage peut être considéré comme une source supplémentaire de granulat, surtout que les granulats de recyclage présentent généralement trois avantages majeurs :

- Economie du transport (économie en temps et argent) car les installations de recyclage sont souvent placées à proximité des chantiers ;
- Economie des décharges ;
- Economie des carrières notamment des gisements alluvionnaires.

D'ailleurs, plusieurs travaux sur le recyclage des matériaux de construction et démolition ont fait l'objet de beaucoup de projets de recherche, notamment ceux de Quebaud et al (1996) et de Canale (1999).

L'objectif de cette étude est de mettre fin ou du moins limiter l'opération de décharge pour ce type de matériaux et de la remplacer par l'opération de recyclage. Ainsi, nous avons choisi de recycler les débris de construction et

démolition (brique et béton) en vue de leur réutilisation dans le domaine routier en particulier dans les couches de fondations et de base. Pour ce faire, nous avons d'abord identifié ces débris, ensuite pour mieux connaître leur comportement mécanique sous différentes sollicitations, nous avons soumis les échantillons préparés aux essais Proctor, CBR et cisaillement direct à la boîte de Casagrande. Les résultats obtenus sont présentés au fur et à mesure dans ce qui suit.

2. ESSAIS D'IDENTIFICATION

Les débris de béton utilisés dans cette étude sont triés, concassés et tamisés. Les caractéristiques physiques déterminées au laboratoire sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des granulats recyclés (Granulats de béton).

Caractéristiques déterminées	Moyenne
Teneur en eau naturelle : w (%)	2,40
Masse volumique des grains solides : ρ_s (g/cm ³)	2,62
Masse volumique sèche : ρ_d (g/cm ³)	1,76
Masse volumique humide : ρ_h (g/cm ³)	1,80
Indice des vides : e (%)	49
Porosité : n (%)	33
Degré de saturation : S_r (%)	1,5
Limites d'Atterberg : w_L , w_p et I_p (%)	Non mesurables

Pour ce qui concerne le critère de dureté ; essais Los-Angeles (LA) et Micro-Deval en présence d'eau (MDE), on utilisera la classe E+ de la norme XPP 18-540 (Destombes et al 2003) qui donne les conditions suivantes (LA inférieur ou égal à 40, MDE inférieur ou égal à 35, LA+MDE inférieur ou égal à 65). Les résultats obtenus montrent que LA est égal à 31 et MDE est égal à 34. Ceci vérifie les conditions prescrites par la norme utilisée.

Les graves relevant de ce classement ont des domaines d'emploi étendus par rapport aux matériaux de classe E. En particulier, elles peuvent être utilisées dans des couches de chaussées sous des trafics plus lourds.

La brique utilisée dans cette étude est prélevée du même site que les débris de béton, elle est fabriquée à base d'argile avec une faible proportion de tuf.

Après identification, les échantillons formés par la classe granulaire (0/16) avant et après les différents ajouts de briques sont ensuite soumis aux différents essais mécaniques cités ci-avant.

3. ESSAIS PROCTOR MODIFIÉ

La première série d'essai consiste à compacter les mélanges de granulats de béton et de brique selon le processus du Proctor modifié.

3.1. Préparation des échantillons

Nous avons choisi deux procédés pour la préparation des échantillons, ceci nous a permis l'incorporation de la brique de deux façons différentes dans la classe granulaire (0/16) des granulats de béton.

3.1.1. Le premier procédé : consiste à extraire à chaque fois les grains de béton de dimension (4mm, 2mm ou ceux inférieurs à 0,08mm) de la classe granulaire (0/16) et de les remplacer par des grains de brique de mêmes dimensions. Les échantillons préparés par cette première méthode sont les suivants :

- Granulats de béton + Brique < 0,08 mm (rempl)
- Granulats de béton + Brique < 2 mm (rempl)
- Granulats de béton + Brique < 4 mm (rempl)

Remarque : le mot (rempl) veut dire que les granulats de béton de dimension citée juste avant ce mot sont remplacés par des grains de brique de même dimension.

3.1.2. Le deuxième procédé : consiste à faire des ajouts de 5 et 10% de brique de différentes dimensions à la classe granulaire (0/16) des granulats de béton.

Les échantillons préparés par cette deuxième méthode sont les suivants :

- Granulats de béton + (5% et 10%) Brique < 0,125 mm
- Granulats de béton + (5% et 10%) Brique < 0,5 mm
- Granulats de béton + (5% et 10%) Brique < 2 mm

- Granulats de béton + (5% et 10%) Brique (2/5) mm.

Les résultats obtenus au compactage des différents mélanges de béton et de brique sont comparés à ceux obtenus sur le compactage des granulats de béton seuls. Tous les résultats obtenus sur les granulats de recyclage sont comparés à ceux obtenus sur le compactage des granulats naturels (matériaux de référence) sous les mêmes conditions d'essais de laboratoire.

3.2. Compactage des échantillons préparés par le premier procédé

Les résultats obtenus pour les mélanges dont la brique a été incorporée par la première méthode sont présentés sous forme de courbes Proctor sur la figure 1.

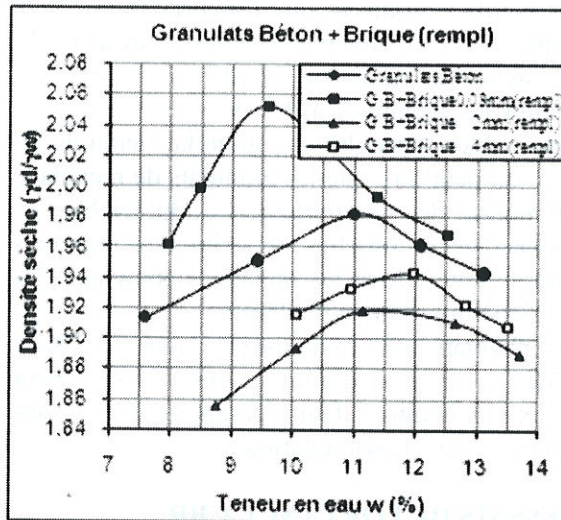


Figure 1: Courbes Proctor modifiées pour les granulats de béton + brique (rempl).

La figure 1 montre les courbes Proctor des granulats de béton après avoir remplacé les particules de diamètre 4 mm, 2 mm ou inférieures à 0,08 mm des granulats de béton par celles de brique de même dimension.

On remarque une amélioration apparente de la densité sèche avec l'incorporation des particules de brique inférieures à 0,08 mm par rapport aux granulats de béton seuls. Tandis que cette densité a diminué par le remplacement des grains de diamètres 2 et 4 mm.

3.3. Compactage des échantillons préparés par le deuxième procédé

Les résultats obtenus pour les mélanges dont la brique a été incorporée par la deuxième méthode sont présentés sous forme de courbes Proctor sur les figures ci-après.

Les figures 3,4 et 5 montrent que les densités sèches sont inversement proportionnelles à la dimension et à la proportion de brique incorporée.

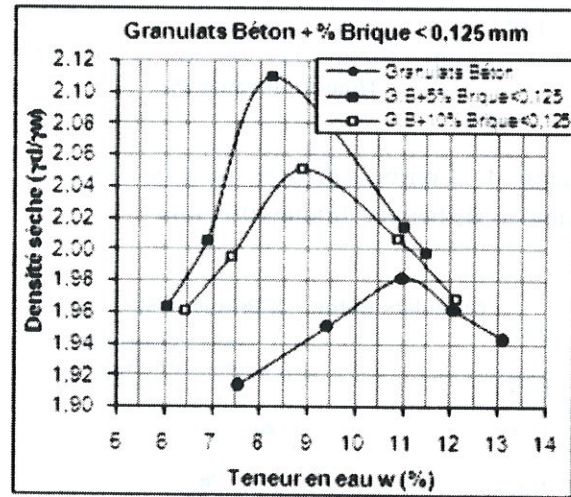


Figure 2: Courbes Proctor modifiées pour les granulats de béton + brique < 0,125 mm.

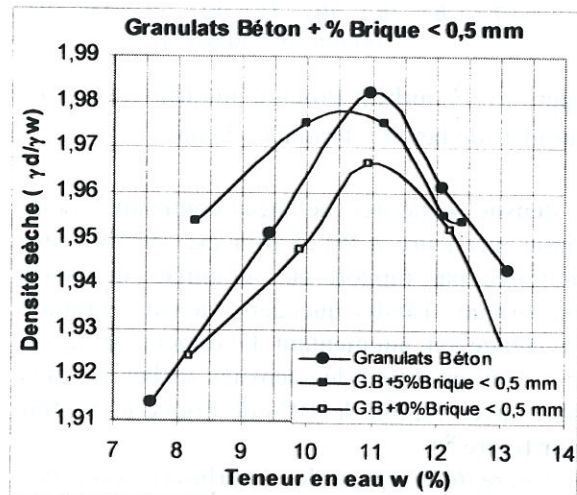


Figure 3: Courbes Proctor modifiées pour les granulats de béton + brique < 0,5 mm

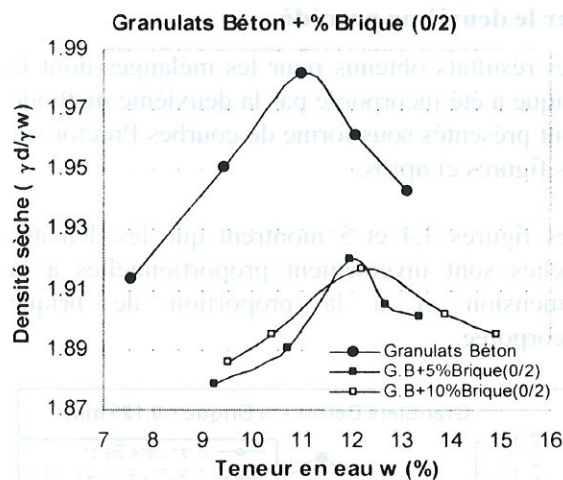


Figure 4: Courbes Proctor modifié pour les granulats de béton + brique (0/2) mm.

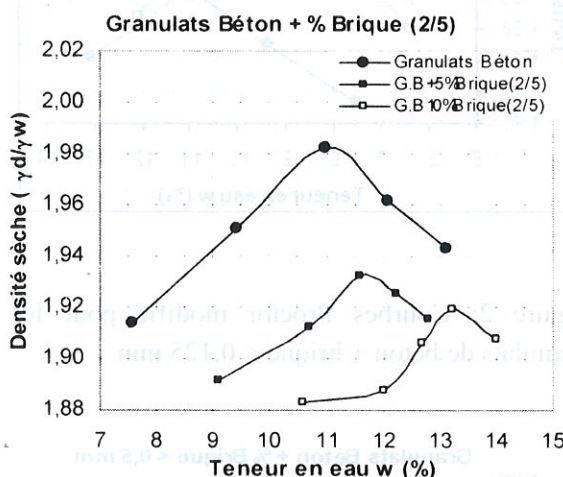


Figure 5: Courbes Proctor modifié pour les granulats de béton + brique (2/5) mm.

La densité sèche des mélanges contenant 5% de brique inférieure à 0,125 mm est sensiblement améliorée par rapport aux granulats de béton sans brique. Tandis que cette densité diminue d'avantage en augmentant la dimension de la brique où on obtient les densités sèches les plus faibles avec l'ajout de 10% de brique (2/5) mm (voir figure 5).

La figure 6 regroupe les courbes Proctor des mélanges ayant donné les meilleures densités sèches aux essais de compactage comparés aux granulats de béton et aux granulats naturels compactés seuls.

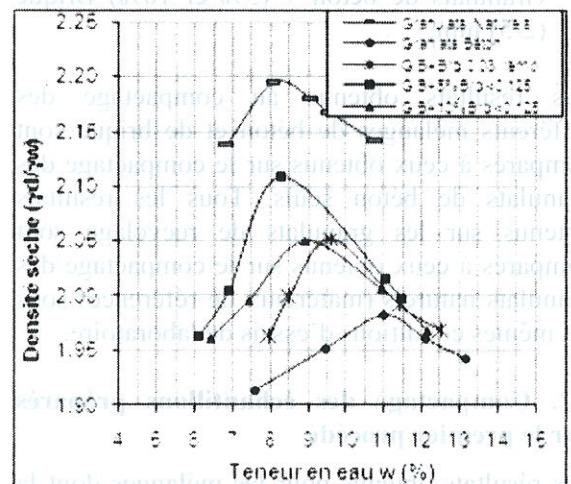


Figure 6: Courbes Proctor de comparaison entre granulats recyclés et granulats naturels.

Ces courbes montrent que l'incorporation de la brique sous des dimensions inférieures à 0,125 mm avec des quantités ne dépassant pas 5% conduit les mélanges à des densités sèches très appréciables et proches des granulats naturels.

Ainsi on peut dire que les granulats de recyclage ont montré des comportements appréciables au compactage et proches de celui des granulats naturels notamment les mélanges contenant 5% de brique inférieure à 0,125mm.

Ces résultats très satisfaisants, nous ont donc incités à passer à d'autres types d'essais pour mieux connaître leur comportement sous d'autres types de sollicitation.

4. ESSAIS DE PORTANCE CBR

La deuxième série d'essai consiste à déterminer la portance des mélanges à l'appareil de poinçonnement CBR avant et après immersion.

Nous avons choisit pour ce type d'essai les échantillons ayant donné les densités sèches les plus élevées lors des essais Proctor modifié. L'indice portant immédiat (IPI) et l'indice CBR après immersion (CBR_{imm} , après immersion des échantillons pendant 4 jours dans l'eau) sont déterminés pour les échantillons suivants:

- Granulats de béton + Brique < 0,08mm (rempl) ;
- Granulats de béton + (5%) Brique < 0,125 mm ;
- Granulats de béton+10% Brique<0.125 mm
- Granulats de béton sans ajouts ;
- Granulats naturels (matériaux de référence).

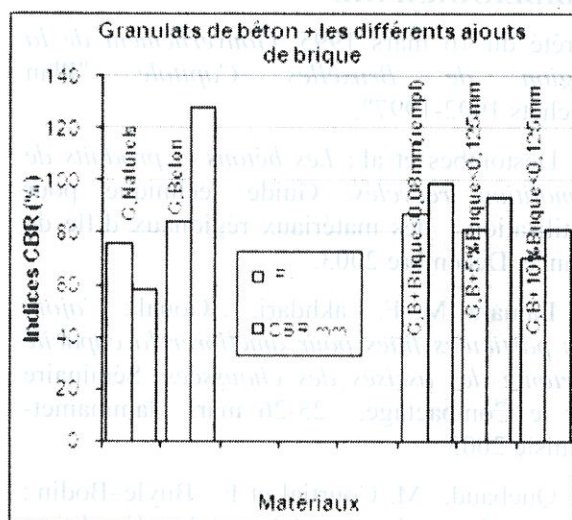


Figure 7 : Essais CBR des différents mélanges avant et après immersion.

La figure 7 montre les résultats des essais de portance CBR des différents mélanges brique et béton comparés aux granulats de béton seuls et aux granulats naturels.

Après avoir confirmé ces résultats en répétant les expériences plusieurs fois, les granulats recyclés ont montré un indice CBR très intéressant et même meilleur que celui obtenu pour les granulats naturels.

La brique dans ces essais a fait diminuer la portance des mélanges, ainsi les granulats de béton poinçonnés seuls, présentent les indices CBR les plus élevés (notamment le CB_{mm}), néanmoins, l'indice CBR des différents mélanges contenant de la brique reste supérieur aux valeurs minimales de 80% par ceux prescrits par les normes. Ceci se confirme par les résultats de Lamara et al (2005).

On peut dire ainsi que les mélanges étudiés se comportent positivement aux essais de portance et vérifient largement les conditions exigés par les normes.

5. ESSAIS DE CISAILLEMENT DIRECT A LA BOITE DE CASAGRANDE

On a terminé cette partie d'étude par une série d'essais de cisaillement direct à la boîte de Casagrande, dans laquelle les mélanges sont soumis aux contraintes normales et tangentielles de cisaillement.

La figure 8 montre les courbes contraintes-déformations, obtenues au cisaillement des différents mélanges, comparés aux granulats naturels.

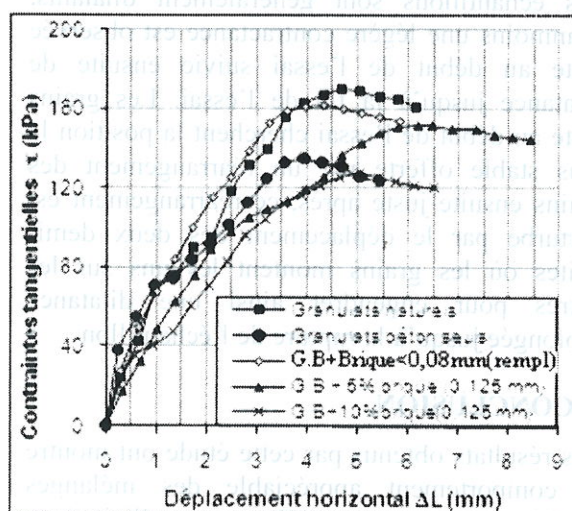


Figure 8: Courbes de contraintes-déformations au cisaillement des différents mélanges.

Les essais de cisaillement présentés sur la figure 8 montrent des résultats très intéressants. Les matériaux recyclés d'une manière générale ont des résistances au cisaillement très proches de celle des granulats naturels.

Les mélanges contenant 5% des grains de briques inférieurs à 0,125 mm se comportent toujours positivement même aux essais de cisaillement.

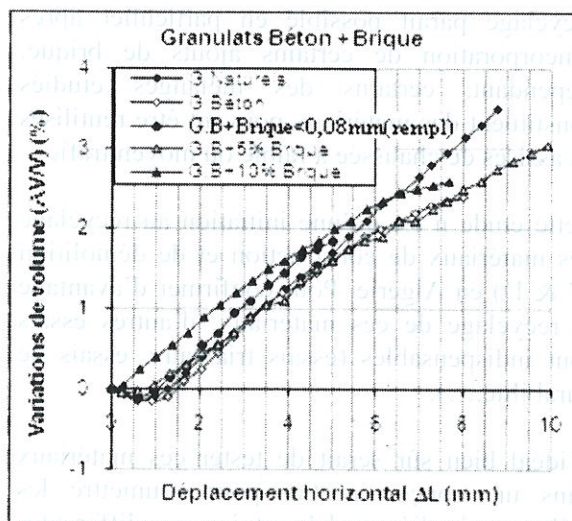


Figure 9: Courbes de variations de volume au cisaillement des différents mélanges.

La figure 9 montre les courbes de variations de volume obtenues au cisaillement des différents mélanges, comparés aux granulats naturels.

Les échantillons sont généralement dilatants, néanmoins une légère contractance est observée juste au début de l'essai suivie ensuite de dilatance jusqu'à la fin de l'essai. Les grains juste au début de l'essai cherchent la position la plus stable offerte par un réarrangement des grains ensuite juste après, ce réarrangement est perturbé par le déplacement des deux demi-boîtes où les grains montent les uns sur les autres pour engendrer ainsi une dilatance prolongée jusqu'à la rupture de l'échantillon.

6. CONCLUSION

Les résultats obtenus par cette étude ont montré le comportement appréciable des mélanges étudiés soumis aux différentes sollicitations (Proctor, CBR et cisaillement direct à la boîte de Casagrande). L'ajout de brique sous forme de grains inférieurs à 0,125 mm avec des proportions ne dépassant pas 5%, a conduit à des mélanges avec un comportement très satisfaisant proche à celui des granulats naturels sous les différentes sollicitations.

Par contre le comportement des mélanges devient défavorable de plus en plus que les grains de brique rajoutés sont supérieurs à 0,125 mm ou avec des quantités dépassant 5%.

La caractérisation de ces débris, a permis donc de conclure qu'ils ne peuvent pas être considérés comme résidus dans les décharges et leur recyclage paraît possible en particulier après l'incorporation de certains ajouts de brique. Cependant, certains des mélanges étudiés constituent des matériaux pouvant être réutilisés en assises de chaussée à faible ou moyen trafic.

Cette étude n'est qu'une initiation au recyclage des matériaux de construction et de démolition (C & D) en Algérie. Pour confirmer d'avantage le recyclage de ces matériaux, d'autres essais sont indispensables (essais triaxiaux, essais de durabilité,...).

L'idéal bien sûr serait de tester ces matériaux dans un tronçon routier pour soumettre les mélanges étudiés au laboratoire aux différentes sollicitations mécaniques et naturelles réelles (gel-dégel, température, poids lourds...) pour connaître leur véritable comportement in-situ.

7. BIBLIOGRAPHIE

Arrêté du 16 mars 1995, *Gouvernement de la Région de Bruxelles Capitale* "Plan Déchets 1992-1997".

M. Destombes et al ; *Les bétons et produits de démolition recyclés*. Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile de France. Décembre 2003.

M. Lamara, M. F. Lakhdari, I. Goual ; *L'ajout des particules fines pour améliorer la capacité portante des assises des chaussées*. Séminaire sur le Compactage, 25-26 mars Hammamet-Tunisie 2005.

M. Quebaud, M. Courtial et F. Buyle-Bodin ; *le recyclage des matériaux de démolition*. Matériaux et structure, N°721, France, juin 1996.

S. Canale; *The utilisation of the material from demolition in the roads construction*. Congress Proceeding R 99, Vol.3, Geneva Switzerland, pp. 353-357, 1999.