

VALORISATION D'UN MÉLANGE DE MARNE ET DE DÉCHETS PLASTIQUES DANS LA CONSTRUCTION ROUTIÈRE

VALORIZATION OF A MIXTURE OF MARL AND PLASTIC WASTE IN ROAD CONSTRUCTION

Omar BOUDLAL¹, Leticia OUALI²

¹Laboratoire de recherche en Géomatériaux, Environnement et Aménagement (L.G.E.A), Département de Génie Civil, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO), Tizi-Ouzou, Algérie. Email : boudlal_geniecivil@yahoo.fr

²Master en Géotechnique, Département de Génie Civil, Faculté du génie de la construction, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO), Tizi-Ouzou, Algérie.

RÉSUMÉ – La présente étude fait partie d'un projet de recherche initié sur le recyclage et la valorisation des matériaux. Elle a pour objectif principal, l'utilisation d'un mélange de marne et de déchets plastiques dans la construction routière. Les résultats obtenus peuvent ouvrir un large éventail d'exploitation des matériaux étudiés et présenter une alternative propre, et rentable dans le domaine de la construction routière.

ABSTRACT – This study is part of a research project initiated on recycling and valorization of materials. It aims mainly to use mixtures of marl and plastic waste in road construction. The results can open a wide range of exploitation of studied materials and present a beneficial and clean alternative in the field of road construction.

1. Introduction

L'Algérie comme plusieurs pays en voie de développement croulent sous les déchets, particulièrement, les déchets plastiques. Malheureusement, ces milliers de tonnes de déchets issus des différentes activités industrielles sont souvent abandonnés et jetés dans des décharges inappropriées et anarchiques (sauvages). Ainsi, ils présentent des risques majeurs pour la santé publique (pollution de l'environnement). En effet, les dépôts sauvages entraînent une pollution visuelle, mais surtout une pollution des sols et des eaux souterraines (nappe phréatique) via l'infiltration de substances polluantes.

Jusqu'à présent, peu de solutions fiables sont mises en avant sur le terrain, alors qu'il est vraiment nécessaire de traiter ces déchets et de préférence les valoriser et les réutiliser dans d'autres secteurs de construction, tels que le génie civil et particulièrement les travaux publics (Boudlal et Melbouci, 2009).

Le travail proposé rentre dans cette perspective ; il consiste à étudier le comportement mécanique d'un mélange de granulats de marne et de déchets plastiques pour une éventuelle utilisation dans la construction routière. Il peut constituer une contribution précieuse (solution durable) présentant une alternative propre, voir même économique, sachant que des quantités énormes de granulats (Daho, 2012) sont réclamées en rapport avec le développement du pays et du nombre important de projets lancés en construction.

2. Matériaux et méthodes

Nous avons initié la partie expérimentale par un ensemble d'essais d'identification et de caractérisation des matériaux utilisés. Ces essais permettent par la suite une meilleure compréhension et interprétation des résultats mécaniques obtenus.

2.1. Caractérisation et identification des matériaux

Les matériaux utilisés dans cette étude (marne et déchets plastiques) sont des matériaux locaux très disponibles dans la région de la Grande Kabylie. Toutefois, il est à signaler que leur exploitation et leur réutilisation dans le domaine routier ne sont encore pas maîtrisées dans notre pays.

2.1.1. Matériau naturel (marne)

Le territoire de la Grande Kabylie s'inscrit du point de vue géologique, dans l'orogénèse alpine périméditerranéenne de la chaîne littorale de l'Afrique du nord. Plusieurs formations affleurent sur ce territoire. Le socle Kabyle (schistes, micaschiste, gneiss et granite) ; la dorsale Kabyle (chaines calcaires avec des calcaires dolomitiques) ; l'oligomiocène Kabyle (conglomérats à la base puis des calcaires et des schistes) ; le Quaternaire (dépôts d'alluvions anciens et récents sous forme de terrasses alluviales emboîtées et étagées) ; les nappes de flyschs (Alternance marno-calcaires avec des bancs de grès et mélange de bancs marno-calcaires et de grès) ; et le Miocène post-nappe dans lequel s'inscrit le bassin de la Grande Kabylie (Raymond, 1976).

Environ 40% des sols de la Grande Kabylie sont des marnes de différentes natures. Plusieurs échantillons de type marneux sont prélevés sur différents sites dans un rayon de 15 km environ. La sélection préliminaire des marnes à étudier est basée sur leur résistance en contact avec l'eau. Après une immersion de plusieurs jours avec un suivi continu et minutieux, nous avons distingué principalement trois types de dégradations :

- Echantillons de type 1 : Ils sont complètement dégradés en présentant un aspect argileux et une très faible résistance mécanique (argilosité et friabilité).
- Echantillons de type 2 : Ils sont restés intacts en aspect (structure superficielle intactes) mais, très fragiles et friables en terme de résistance sous coups de marteau.
- Echantillons de type 3 : Ils ont présenté une stabilité acceptable en aspect et en résistance. En effet, aucune dégradation n'a été constatée en surface, avec une dureté et résistance relativement importantes sous coups de marteau. Nous avons donc opté pour ce type de matériau. Il est extrait sous forme de blocs secs sur site (figure 1), ensuite concassés au laboratoire par des moyens mécaniques selon la granulométrie désirée.



Figure 1. Site de prélèvement du matériau naturel.

Les résultats d'essais d'identification physico-chimique présentés dans le Tableau 1, montrent que le matériau étudié est une marne inorganique, faiblement agressive avec des traces de chlorures et la présence d'une fraction fine de nature sableuse.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques du matériau naturel.

w (%)	ps (g/cm ³)	ph (g/cm ³)	VBS	CaCO ₃ (%)	MO (%)	SO ₄ (%)	Cl ⁻ (%)
03,43	02,53	02,39	1,00	57,00	01,70	00,90	Traces

2.1.2. Matériau industriel (déchets plastiques)

La gestion, le contrôle et l'élimination des déchets en Algérie sont régis par la loi 01-19 du 12 décembre 2001.

Les statistiques sur la composition des déchets de la commune de Tizi-Ouzou (Grande Kabylie) montrent qu'au-delà des déchets putrescibles ou organiques qui présentent 53.24% des déchets à la propriété biodégradable, le plastique constitue le pourcentage le plus élevé des déchets générés inertes avec une valeur de 19.25% des déchets totaux.

Pour optimiser leur exploitation ; les déchets plastiques broyés (figure 2) constituent un mélange de plastiques de différentes natures (PEHD, PVC, PS/PET, PP et PEBD) collectés sur des décharges sauvages au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou (figure 2).



Figure 2. Déchets plastiques avant et après broyage.

Les principales caractéristiques physiques et mécaniques des différents plastiques ont été présentées par Fontanille (2014) et récapitulées dans le tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques physiques et mécaniques de quelques polymères.

Type	Légèreté	Dureté	Tenue au choc	Résistance au froid	Résistance à la chaleur	Résistance aux solvants organiques	Module d'élasticité E (GPa)	Densité
PEHD	Très bon	Médiocre à assez bon	Très bon	Bon	Assez bon	Très bon	0.8-1.2	0.95
PVC	Assez bon	Assez bon	Faible à très bon	Médiocre	Faible	Faible à bon	2.4	1.38
PEBD	Très bon	Faible à médiocre	Médiocre à très bon	Bon	Médiocre	Très bon	0.12 - 0.3	0.92
PP	Très bon	Médiocre	Faible à assez bon	Médiocre	Assez bon à bon	Bon	1.3	0.91
PS/PET	Bon	Assez bon à bon	Médiocre	Bon	Assez bon	Faible à bon	3.2	1.05

PEHD : polyéthylènes à hautes densités, PVC : polychlorures de vinyle, PEBD : polyéthylène basse densité, PP : polypropylène, PS/PET : polystyrène/poly téréphtalate d'éthylène.

2.2. Préparation des échantillons

Les blocs de marne sont concassés au laboratoire au moyen d'un concasseur mécanique, de manière à présenter approximativement une distribution dimensionnelle des grains permettant ensuite de reconstituer les échantillons sous la classe granulaire 0/20 mm.

Les déchets plastiques sont broyés sous forme de copeaux ne dépassant pas 20 mm de telle sorte à présenter la même distribution granulométrique que les grains de marne.

Les échantillons (mélanges) sont reconstitués de grains de marne de différentes dimensions auxquels sont additionnées les proportions de plastiques suivantes : 1%, 3%, 5% et 7% de telle sorte à former pratiquement la même classe granulaire 0/20 mm. Cette dernière est caractérisée par la courbe granulométrique délimitée par le fuseau de courbes préconisé par la norme NF EN 13-285, correspondant aux graves non traitées (mélanges de granulats naturels, artificiels ou recyclés) destinés à la construction des assises de chaussées (figure 3).

Selon le système unifié de classification des sols USCS, les échantillons préparés se présentent sous forme dimensionnelle d'une grave propre bien graduée, de granulométrie étalée.

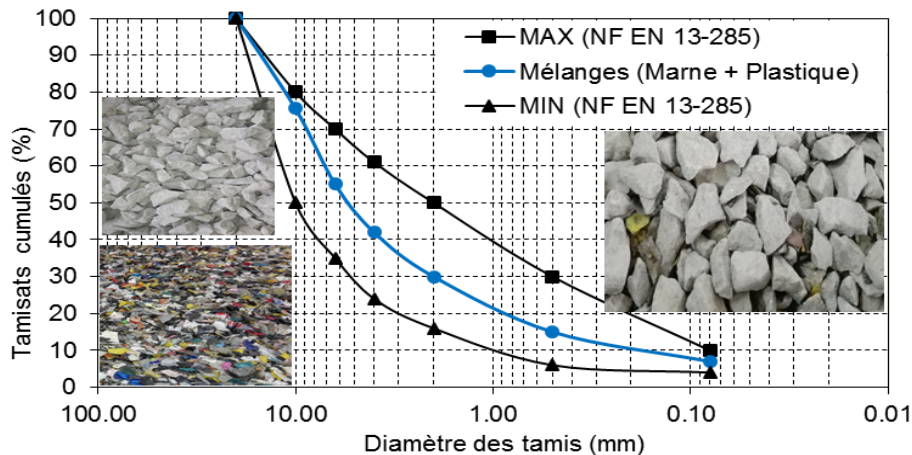


Figure 3. Préparation des échantillons (mélanges).

2.3. Essais réalisés

Les échantillons préparés sont soumis à plusieurs séries d'essais mécaniques au laboratoire (Proctor, CBR, cisaillement, fragmentabilité, dégradabilité).

- Les essais de compactage au Proctor modifié (NF P 94-093), permettent d'étudier l'aptitude des mélanges au compactage et la détermination de leurs caractéristiques mécaniques à l'optimum (W_{OPM} et ρ_{dOPM}) ;

- Les essais de portance avant et après immersion (NF P 94-078), permettent d'évaluer respectivement la portance des mélanges sous la circulation des engins du chantier (Indice Portant Immédiate : IPI) et après mise en service sous les plus mauvaises conditions hygrométriques (Indice CBR après immersion : CBR_{imm}).

- Les essais de cisaillement direct à la boîte (NF P 94-071), permettent d'étudier la résistance des mélanges face aux efforts tangentiels générés par le trafic, notamment les poids lourds. Ces essais permettent ainsi de déterminer les caractéristiques mécaniques au cisaillement, à savoir : la cohésion (c) et l'angle de frottement interne (ϕ).

- Les essais de fragmentabilité et de dégradabilité (NF P 94-066 et NF P 94-067) permettent respectivement d'étudier l'évolution de la granularité des matériaux étudiés sous pilonnage et sous plusieurs cycles alternés de séchage et d'imbibition dans l'eau.

3. Résultats et discussions

3.1. Essais de compactage au Proctor modifié

Les essais de compactage au Proctor modifié présentés sur la figure 4, montrent que l'ajout du plastique réduit de plus en plus la sensibilité des mélanges à l'eau. Ces derniers présentent des courbes Proctor moins bombées (moins sensibles à l'eau) relativement aux granulats naturels seuls. Ceci apparaît notamment, dans le cas des mélanges dont les teneurs en plastique entre 3 et 7%, du fait que le plastique (insensible à l'eau) occupe une proportion importante dans les mélanges.

En outre, l'ajout du plastique améliore légèrement les caractéristiques à l'optimum des mélanges à 1% de plastique. Ces mélanges présentent une meilleure aptitude au compactage développant les densités sèches les plus élevées ($\rho_{dOPM} = 2,09 \text{ g/cm}^3$). Cette amélioration en densité, peut être due au renforcement de la structure globale du matériau naturel par les grains de plastique.

Au cours du compactage les grains de plastique épousent facilement la forme des vides existants entre les granulats naturels et diminuent de ce fait leur proportion dans l'échantillon, ce qui fait augmenter par conséquent sa densité. Au-delà de 1% de plastique, les mélanges perdent de plus en plus en densité, ceci peut être dû au fait que le plastique peut jouer un rôle d'amortisseur absorbant une partie de l'énergie de compactage dynamique appliqué. Ceci apparait notamment pour des proportions importantes de plastique (7%). Toutefois, les densités sèches obtenues restent assez acceptables pour un matériau routier ($\rho_{dOPM} > 1,80 \text{ g/cm}^3$).

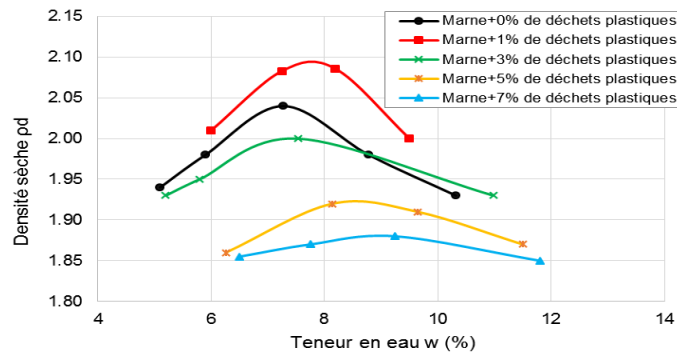


Figure 4. Compactage des échantillons (mélanges).

Les teneurs en eau optimales obtenues au compactage des échantillons ne dépassant pas 3% de plastique sont assez comparables à celle obtenue au compactage des granulats naturels seuls. Tandis que, les teneurs en eau optimales deviennent de plus en plus importantes en passant aux mélanges à 5 et 7% de plastique respectivement. Un excès de plastique provoque un amortissement de l'énergie de compactage et donc une désorganisation de la structure granulaire des mélanges, notamment avec l'aspect feuilleté des déchets plastiques utilisés, ce qui produit plus de vides dans les échantillons. Ces vides sont évidemment occupés par l'eau de compactage.

À l'issue des essais Proctor réalisés, nous pouvons constater que les différents mélanges dont la proportion de plastique ne dépassant pas 5% ont présenté des densités sèches supérieures à 1,9 à des teneurs en eau moyennes de 8%. Ces caractéristiques sont très satisfaisantes relativement à celles développées par les matériaux naturels présentées par Robitaille et Tremblay (1997). Elles permettent ainsi de les qualifier du point de vue compactage comme matériaux très intéressants pour les corps de chaussées, particulièrement en couches de forme (Setra-Lcpc, 2000).

3.1. Essais de portance CBR avant et après immersion

Les échantillons reconstitués de granulats naturels et de déchets plastiques sont humidifiés à leurs teneurs en eau optimales de compactage reproduisant leur état réel de mise en œuvre, et sont soumis ensuite aux essais CBR avant et après immersion selon la norme NF P 94-078 permettant d'étudier respectivement leur portance immédiate (IPI) et leur portance après immersion (CBR_{imm}).

La résistance au poinçonnement des échantillons avant et après immersion présentée sur la figure 5 permet de constater que les indices CBR après immersion sont nettement supérieurs aux indices CBR avant immersion. Ceci, ne correspond pas au comportement général des sols qui perdent de leur résistance au poinçonnement en présence d'eau, ce qui apparait exceptionnellement dans le cas du mélange à 5% de plastique. Le matériau naturel étudié développe peut être une certaine cimentation des particules en contact avec l'eau, ce qui améliore sensiblement sa portance à l'état humide. Cette caractéristique est sans doute importante pour un matériau routier.

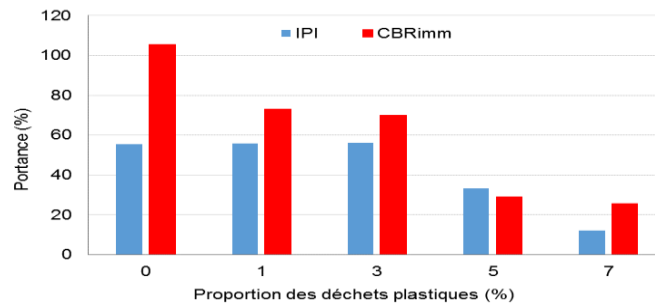


Figure 5. Portance des échantillons (mélanges) avant et après immersion.

L'ajout du plastique à des proportions ne dépassant pas 3% apporte une légère amélioration à la résistance au poinçonnement des échantillons avant immersion. En effet, les indices IPI enregistrés passent de 55,4% (sans plastique) à 56,2% (avec 3% de plastique). Au-delà de cette proportion (3% plastique), les IPI diminuent sensiblement pour atteindre des valeurs de l'ordre de 12% (cas des mélanges à 7% de plastique).

Dans le cas des essais CBR après immersion, la portance des mélanges diminue dès le premier ajout de plastique et se réduit continuellement pour atteindre les portances les plus faibles à 7% de plastique ($CBR_{imm} = 25\%$). Ceci peut être expliqué par la propriété du plastique facilement déformable sous chargement.

Toutefois, les portances développées par les différents mélanges avant et après immersion sont supérieures à 10%, ce qui permet de classer les échantillons étudiés dans la catégorie des sols de classes S3 à S5, de portances moyennes à très élevées.

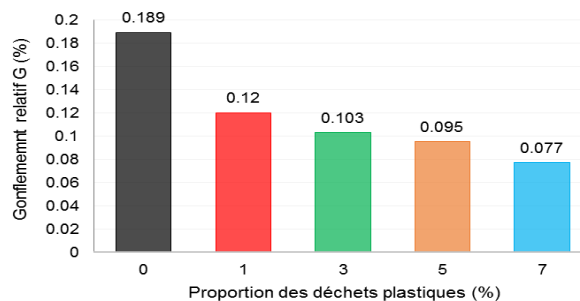


Figure 6. Gonflement des échantillons (mélanges) avant et après immersion.

L'indice de gonflement relatif G diminue de plus en plus avec l'ajout du plastique (figure 6). Cependant, le gonflement des matériaux étudiés après 96 heures d'immersion dans l'eau est acceptable et ne dépasse pas 0,19%. Ceci peut être expliqué par la nature des matériaux étudiés (fraction fine et plastique non gonflants).

En se référant aux seuils de portance des sols et des matériaux cités dans la littérature (DRCRM, 1995 et GMTR, 2001), nous constatons que les échantillons étudiés peuvent être insérés dans les classes des matériaux de portances moyennes à élevées, destinés pour la construction routière. Par conséquent leur réemploi en couches de forme est fortement envisageable. Les mélanges à forte proportion de plastique (7%) paraissent dans ce cas plus intéressants et plus stables en présence d'eau.

3.1. Essais de cisaillement direct à la boîte

Les granulats routiers, doivent résister aux efforts tangentiels répétés produits par le trafic, notamment les poids lourds. Comme il a été constaté par Hamlat (2007), ces efforts sont fortement accentués lors des différentes manœuvres (accélération, freinage et changement de direction). Ces efforts se traduisent par la suite comme des déformations de la chaussée et des arrachements des granulats en surface. Une meilleure résistance au cisaillement permet donc d'assurer la stabilité et la durabilité de la chaussée et par conséquent, la sécurité et le confort des passagers.

Les résultats obtenus aux essais de cisaillement (figure 7) montrent que les granulats naturels étudiés (marne) sont caractérisés par un angle de frottement de 37,88°. Ce résultat est relativement amélioré par l'ajout du plastique pour atteindre la valeur maximale de 43,74° (5% de plastique). Cette amélioration de l'angle de frottement est expliquée par la forme irrégulière (angles très marqués) des déchets plastiques utilisés. Le frottement est donc plus important entre les points de contact entre les grains naturels et ceux du plastique.

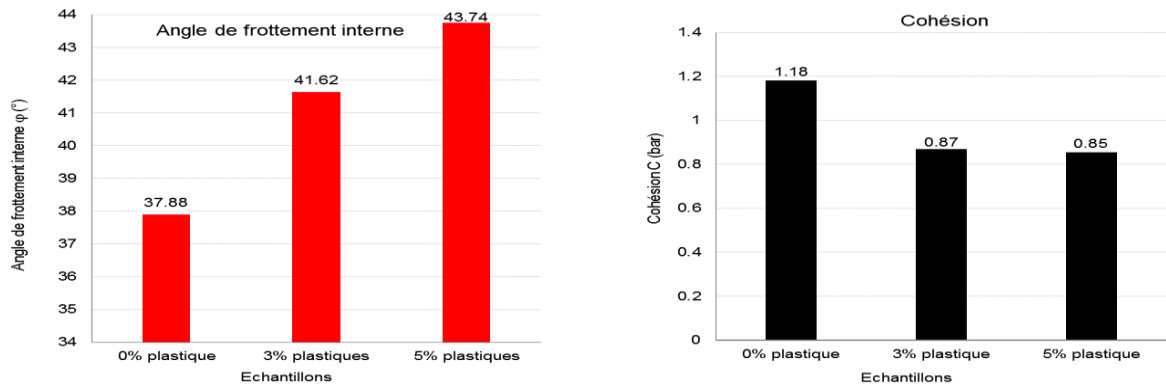


Figure 7. Caractéristiques mécaniques des différents échantillons.

La cohésion obtenue diminue continuellement avec l'ajout de déchets plastiques. Ces derniers créent des discontinuités (en fonction de leur proportion) entre les grains de marne dotés d'une certaine cohésion. Ainsi, l'ajout du plastique développe une amélioration notable des angles de frottement interne accompagnée d'une légère diminution en cohésions. Ceci, se traduit globalement par une meilleure résistance au cisaillement des mélanges en fonction de l'ajout des déchets plastiques, leur permettant ainsi une éventuelle utilisation en couches de chaussées.

3.2. Essais de fragmentabilité et de dégradabilité

L'étude de la fragmentabilité et de la dégradabilité des matériaux permet de caractériser les matériaux routiers du point de vue de l'évolution de leur granularité sous sollicitations du trafic et sous sollicitations hydriques (à long terme). Par conséquent, elle permet d'avoir une idée sur la durée de vie de la chaussée en question.

Tableau 3. Essais de fragmentabilité (FR) et de dégradabilité (DR).

FR	1.46
DR	≈ 1

Les coefficients de fragmentabilité (FR) et de dégradabilité (DG) déterminés (Tableau 3), permettent de conclure en se basant sur les recommandations de la norme NF P 11-300, que les mélanges étudiés sont peu fragmentables sous pilonnage ($FR < 7$) et peu dégradables face aux cycles alternés d'humidification-séchage ($DG < 5$). Leur utilisation peut être envisageable en couche de forme et en couche de fondations.

4. Conclusions

Les matériaux utilisés (marne et déchets plastiques) présentent plusieurs avantages : disponibilité, facilité d'extraction ou de collecte (cas des déchets plastique), facilité de préparation, économie de transport et de temps (matériaux locaux) et enfin, protection de l'environnement (limitation des décharges sauvages et récupération de ces espaces pour d'autres utilisations).

Les résultats obtenus à l'issue des essais réalisés permettent de conclure que les mélanges étudiés constituent pour certaines proportions de plastique (3 à 5%) un

composite présentant une bonne aptitude au compactage, avec des portances très importantes même en présence d'eau. Il développe également des résistances très intéressantes au cisaillement, à la fragmentabilité et à la dégradabilité. Ceci, permet de proposer son utilisation dans la construction routière comme une alternative fiable et rentable respectivement sur les volets environnemental et économique. Cette opération permettra d'éliminer des tonnes de déchets plastiques et d'exploiter les gisements marneux, leurs conférant un caractère de matière première dans la construction routière.

Il convient alors, d'engager des efforts substantiels et des actions concertées des acteurs économiques, des administrations, du pouvoir et des chercheurs pour encourager et développer l'utilisation des matériaux présentés et d'autres matériaux dans plusieurs domaines de construction.

5. Références bibliographiques

- Boudlal O., Melbouci B. (2009). Study of the demolition aggregates behavior by the Proctor and CBR tests. Material, Design, Construction, Maintenance, and Testing of pavement. *Geotechnical special publication (ASCE)*; 193, pp. 75-80.
- Daho E. (2012). Etude du potentiel local en granulats, pour une utilisation optimale. Mémoire de magister, université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, Algérie, 161 pages.
- DRCRM. (1995). Direction des routes et de la circulation routière du Maroc, Catalogue des structures types des chaussées neuves. Ministère de l'équipement, Maroc.
- Fontanille M et Gnanou Y. (2014). Chimie et physico-chimie des polymères, Dunod, troisième édition, Paris, 576 pages.
- GMTR. (2001). Direction des routes et de la circulation routière du Maroc, Guide marocain pour les terrassements routiers " GMTR", fascicule I: principes généraux.
- Hamlat S. (2007). Etude de la résistance des revêtements routiers aux sollicitations tangentielles. Thèse de doctorat délivrée par l'école centrale de Nantes et l'université de Nantes. Spécialité : mécanique des matériaux.
- NF EN 13-285. (2010) Norme française, Graves non traitées, Spécifications.
- NF P 11-300. (1992). Norme française, Exécution des terrassements, Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
- NF P 94-066. (1992). Norme française, Sols, reconnaissance et essais. Coefficient de fragmentabilité des matériaux rocheux.
- NF P 94-067. (1992). Norme française, Sols, reconnaissance et essais. Coefficient de dégradabilité des matériaux rocheux.
- NF P 94-071. (1994). Norme française, Sols, reconnaissance et essais. Essai de cisaillement rectiligne à la boîte. Cisaillement direct.
- NF P 94-078. (1997). Norme française, Sols, reconnaissance et essais. Indice CBR à immersion-Indice CBR immédiat-Indice portant immédiat. Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR.
- NF P 94-093. (2014). Norme française, Sols, reconnaissance et essais. Détermination des références de compactage d'un matériau. Essai Proctor normal- Proctor modifié.
- Raymond D. (1976). Evolution sédimentaire et tectonique du Nord-Ouest de la Grande Kabylie (Algérie), au cours du cycle alpin. Thèse de doctorat d'Etat, Département des sciences naturelles, Université Pierre et Marie Curie, France.
- Robitaille V, Tremblay D. (1997). Mécanique des sols, théorie et pratique. Modulo éditeur, Québec, 652 pages.
- SETRA-LCPC. (2000). Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes-Laboratoire Central des Ponts et chaussées. Guide technique, Réalisation des remblais et des couches de forme. Fascicule I, Principes généraux. 2eme édition.