



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering



**AMELIORATION DES GRAVELEUX
LATERITIQUES AVEC DU GRANITE
CONCASSE DE CLASSES
GRANULOMETRIQUES DIFFERENTES
(0/20 ; 0/31,5 ; 5/20)**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE CIVIL**

Présenté par

Mariétou KANAZOE

Travaux dirigés par

M. Ali SANA

Chef de Service de Département Géotechnique Routière
Au Laboratoire National de Bâtiment et de Travaux Publics (LNBTP)

Et

M. Raffaele VINAI

Chef d'UTER infrastructures à l'Institut international de l'Eau et de l'Environnement (Zie)

Promotion [2010/2011]

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont tout d'abord à l'endroit de mes parents, amis et connaissances pour leur soutien moral tout au long de l'élaboration du présent mémoire.

Je remercie La Directrice Générale du Laboratoire National de Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) pour m'avoir permise de réaliser les travaux d'étude au sein du laboratoire nationale en m'accordant un stage de trois mois.

Je remercie très particulièrement M. Ali SANA, Chef du Département Géotechnique routière au LNBTP, qui a dirigé mes travaux au sein du laboratoire. M. SANA a témoigné à mon égard une très grande disponibilité et a toujours prêté une oreille attentive à toutes mes préoccupations. Et pour tout cela, je lui suis infiniment reconnaissante.

Je remercie M. Raffaele VINAI et M. Ismaëla GUEYE pour leur disponibilité en tant que professeurs de suivi pour l'élaboration du présent mémoire. Leurs conseils et suggestions m'ont été d'une utilité inestimable.

J'adresse de très profonds remerciements à l'ensemble du corps professoral de l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2ie), qui n'ont jamais ménagé aucun effort pour répondre aux différentes préoccupations que j'ai eu à leur soumettre tout au long des mes études au 2ie et particulièrement pour la réalisation du présent mémoire.

Je n'oublie pas l'ensemble du personnel du LNBTP qui m'a apporté son aide lors de l'exécution des essais de laboratoire.

RESUME

Le graveleux latéritique est un matériau utilisé en construction routière comme matériau de corps de chaussée. Par ailleurs, la rareté des graveleux latéritiques pouvant être utilisés à l'état naturel en couche de base a conduit, au Burkina Faso, à la mise au point d'une technique d'amélioration des graveleux latéritiques avec du granite concassé : la lithostabilisation.

L'étude menée dans ce document concerne deux matériaux latéritiques améliorés avec du granite concassé de trois classes à savoir le 0/20, 0/31,5 et 5/20.

Des essais de laboratoire ont préalablement été réalisés sur les graveleux latéritiques à l'état naturel. Il s'agit de l'analyse granulométrique, les limites d'Atterberg, l'essai Proctor Modifié et l'essai CBR. Ces essais ont permis de conclure que ces matériaux ne peuvent pas être utilisés en couche de base à l'état naturel car leur indice portant CBR respectif égal à 60 et 17 à 95% de l'Optimum Proctor Modifié (OPM), sont inférieurs à 80.

Les matériaux ont alors été améliorés avec les trois classes de granite concassé à 20% et 30% afin d'observer l'évolution de l'indice CBR.

L'indice portant CBR à 98% de l'Optimum Proctor Modifié du premier graveleux latéritique passe de 88 à l'état naturel à 116 après amélioration avec le concassé 0/20 à 30%. Le second graveleux passe d'un CBR de 23 à 98% de l'Optimum Proctor Modifié à 140 après amélioration avec le concassé 0/20 à 30%.

On en déduit alors que l'amélioration avec le concassé 0/20 donne les meilleurs résultats en ce qui concerne l'indice CBR.

Mots clés :

- [1] Graveleux latéritique
- [2] Granite concassé
- [3] Couche de base
- [4] Lithostabilisation
- [5] Indice CBR



ABSTRACT

The lateritic gravel is a material used in road construction as the material of the pavement. Moreover, the scarcity of lateritic gravel can be used naturally in base led, Burkina Faso, to the development of a technique for improving gravel lateritic with crushed granite: the lithostabilisation.

The study in this paper relates to two lateritic materials enhanced with crushed granite of three classes namely the 0/20 0/31, 5 and 5/20.

Laboratory tests have previously been carried out on lateritic gravelly in nature. It is the sieve analysis, Atterberg limits, Proctor Amended and CBR test. These tests have concluded that these materials can not be used in base layer in its natural state as their respective indices for CBR to 95% of modified Proctor Optimum, 60 and 17, are less than 80.

The materials were then improved with the three classes of crushed granite to 20% and 30% in order to observe the evolution of the CBR.

The index for CBR at 98% of Modified Proctor Optimum first lateritic gravel goes from 88 naturally to 116 after improvement with the crushed 0/20 to 30%. The second goes from a gravelly CBR from 23 to 98% of Modified Proctor Optimum at 140 after improvement with the crushed 0/20 to 30%.

We then deduced that the improvement with the crushed 0 / 20 gives the best results as regards the CBR.

Keywords:

- [1] Gravelly lateritic
- [2] Crushed Granite
- [3] Basecoat
- [4] Lithostabilisation
- [5] Index CBR

Sommaire

I. INTRODUCTION.....	4
II. LA LATERITE	7
II.1. Définition.....	7
II.2. Les différents profils latéritiques	7
II.3. Graveleux latéritiques et leurs particularités au Burkina Faso.....	8
II.4. Utilisation de la latérite en construction routière.....	8
II.5. Identification géotechnique du graveleux latéritique	9
II.5.1. Echantillonnage	9
II.5.2. Analyse granulométrique.....	10
II.5.3. Les limites d'Atterberg	11
II.5.4. L'essai Proctor	12
II.5.5. L'essai CBR (Californian Bearing Ratio test)	13
III. LE GRANITE.....	15
III.1. Définition.....	15
III.2. Typologie de granite.....	15
III.3. identification du granite concassé.....	16
III.3.1. Analyse granulométrique	16
III.3.2. Mesure du coefficient d'aplatissement.....	16
III.3.3. Essai de propreté superficielle	17
III.3.4. Essai Los Angeles	17
III.3.5. Essai Micro-Deval	18
IV. AMELIORATION DU GRAVELEUX LATÉRITIQUE AVEC DU CONCASSE .	19
IV.1. La technique de lithostabilisation	19
IV.1.1. Principe.....	19
IV.1.2. Mise en œuvre	19
IV.2. Identification des graveleux latéritiques et du granite concassé	20
IV.2.1. Graveleux latéritiques.....	20
IV.2.2. Le granite concassé	25
IV.2.3. Le lithostab	28
V. CONCLUSION	34
VI. RECOMMANDATIONS / PERSPECTIVES	35

VI.1. Recommandations	35
VI.2. Perspectives.....	36
VII.BIBLIOGRAPHIE.....	37
VIII. ANNEXES	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : fuseau granulométrique du graveleux latéritique en couche de base

Tableau 2 : Analyse granulométrique du matériau issu de l'emprunt n°01

Tableau 3 : Analyse granulométrique du matériau issu de l'emprunt n°02

Tableau 4 : Synthèse des résultats d'identification des matériaux issus des emprunts 1 et 2

Tableau 5 : calcul des coefficients de courbure et d'uniformité des matériaux issus des emprunts 1 et 2 à l'état naturel

Tableau 6 : Analyse granulométrique des concassés 0/20, 0/31,5 et 5/20

Tableau 7 : Récapitulatif des résultats d'essais d'aplatissement, de propreté, de Los Angeles et de Micro-Deval.

Tableau 8 : calcul des coefficients de courbure et d'uniformité des concassés 0/20, 0/31,5 et 5/20

Tableau 9 : Synthèse des résultats d'essais réalisés sur l'emprunt n°01 amélioré

Tableau 10 : Synthèse des résultats d'essais réalisés sur l'emprunt n°02 amélioré

Tableau 11 : Calcul des coefficients d'uniformité et de courbure du lithostab réalisé avec l'emprunt n°01

Tableau 12 : Calcul des coefficients d'uniformité et de courbure du lithostab réalisé avec l'emprunt n°02

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Courbe granulométrique du matériau issu de l'emprunt n°01

Figure 2 : Courbe granulométrique du matériau issu de l'emprunt n°02

Figure 3 : Courbe granulométrique des concassés de classes granulaires 0/20, 0/31,5 et 5/20

I. INTRODUCTION

La construction routière est un paramètre incontournable dans l'accroissement de l'activité économique des pays de l'Afrique tropicale, presque tous indépendants depuis peu. Pour le Burkina Faso en particulier, en plus de l'accroissement de l'activité économique, la nécessité de désenclavement du pays soulève de nombreuses questions dans le domaine de la construction routière, tant sur le plan technique qu'économique.

En effet, la question des techniques de réalisation, celle des matériaux de construction, et celle de l'économie des projets, se posent avec une acuité toute particulière dans ces pays dits en voie de développement dont les capacités financières sont très limitées et où toute technique envisagée doit tenir compte de cette situation. A cet effet, un accent particulier est mis sur l'utilisation des matériaux locaux en vue de minimiser les coûts de construction.

L'environnement géologique relativement homogène du Burkina Faso donne des possibilités non négligeables en matière de matériaux de construction routière. Il s'agit notamment des granites et des graveleux latéritiques. Les graveleux latéritiques sont utilisés dans le corps de chaussée des routes en terre et des routes revêtues. Pour ce qui est des routes revêtues, la structure des chaussées comporte une couche de fondation, une couche de base et le revêtement. Les graveleux latéritiques sont utilisés en couche de fondation et en couche de base. Selon les cas, ils doivent répondre à des spécifications.

Le constat a été fait qu'il a toujours été possible de sélectionner des graveleux latéritiques pour être utilisés en couche de fondation. Par contre, des graveleux satisfaisant aux critères d'une couche de base, en particulier en ce qui concerne l'indice portant CBR, deviennent de plus en plus rares et sont difficiles à localiser. En outre, après exploitation des emprunts, il n'est pas toujours évident que l'on retrouve toujours approximativement les caractéristiques annoncés lors de l'étude en emprunt. En général, les caractéristiques géotechniques des matériaux baissent après gerbage approvisionnement, réglage et compactage.

Toutes ces constatations, qui relèvent d'expérience tirées de contrôle géotechnique des chantiers conduisent à la nécessité d'améliorer les graveleux latéritiques devant être utilisés en couche de base dans bon nombre de cas.

La solution la plus immédiate et la plus rationnelle à laquelle on aurait pensé aussitôt dans le contexte géologique et financier du Burkina Faso est l'amélioration des graveleux latéritiques au concassé de granite. En effet, les graveleux comportant des nodules plus ou moins friables, on a pensé à améliorer leur portance en renforçant le « squelette ». Il s'agit de la technique de lithostabilisation.

L'amélioration des graveleux latéritiques avec le concassé de granite a pour la première fois fait l'objet d'étude au Laboratoire National du Bâtiment et Des Travaux Publics (LNBTP) à l'occasion de l'étude géotechnique du projet d'aménagement de la route Ouagadougou/ Yako. La technique a été mise au point par M. LOMPO Pierre, Chef du service géotechnique routière au LNBTP, à l'époque de la Haute Volta (dans les années 1980). Les essais avaient été réalisés sur un graveleux latéritique présentant les caractéristiques suivantes :

- Pourcentage de fines (<0.08mm) : 25
- Indice de plasticité (IP) : 20
- CBR à 95% de la densité sèche et après 4 jours d'imbibition : 58

Ce matériau a été amélioré à 10, 15 20 et 25% de concassé 5/15, puis soumis pour chacun des cas à l'essai CBR. Ces résultats ont montré que l'indice portant CBR égal à 80 à 95% OPM n'est atteint que pour 30% de concassé.

Par ailleurs, depuis la mise au point de la technique de lithostabilisation, peu de travaux de recherches ont été menés sur la question. Aussi, a-t-on voulu pousser la réflexion en nous basant sur des études réalisées au sein du LNBTP.

Les objectifs visés sont les suivants :

- L'amélioration des propriétés physiques des graveleux latéritiques afin d'en faire des matériaux de couche de base satisfaisants ;
- La détermination de l'influence de la classe granulaire et du pourcentage du concassé sur l'amélioration des propriétés physiques et mécaniques du graveleux latéritique amélioré, notamment l'indice portant CBR.

Pour les besoins de l'étude, il a été question dans un premier temps de sélectionner deux graveleux latéritiques ayant des caractéristiques différentes en l'occurrence l'indice de

portance, ainsi que trois classes granulaires de granite (0/20 ; 5/20 ; 0/31.5). Dans un second temps, chacun des graveleux latéritiques a été amélioré avec les trois classes granulaires de granite concassé, à 20% et à 30% et soumis à des essais d'identification afin de permettre une analyse objective de l'expérience.

Le présent mémoire est structuré comme suit :

- Généralités sur la latérite et le granite
- Présentation de la technique de lithostabilisation
- Identification des graveleux latéritiques naturels et du granite concassé
- Présentation des résultats d'études sur les graveleux latéritiques améliorés
- Analyse et discussion des résultats obtenus sur les mélanges
- Annexes comportant les caractéristiques physiques des différents matériaux étudiés

II. LA LATÉRITE

II.1. DEFINITION

Le mot « latérite » dérive du latin *later*, qui signifie brique. Ce terme a pour la première fois été suggéré par Buchaman en 1807.

La latérite constitue un produit commun de l'altération des roches sous les climats tropicaux. Elle est essentiellement constituée d'oxyde de fer et d'aluminium.

Du point de vue de l'ingénieur routier, on parlera de **graveleux latéritique**. Il s'agit d'un sol meuble de granulométrie 0/20 à 0/40 mm comportant de 10 à 35% de fines passant au tamis de 80µm et un « squelette » de 20 à 60% (refus au tamis de 2mm). On considère ainsi qu'un sol latéritique contenant plus de 35% de passant à 80µm n'est plus un graveleux latéritique. Il entre alors dans les catégories des sols fins, l'influence de la matrice fine devenant très prépondérante sur celle du « squelette ».

II.2. Les différents profils latéritiques

Les latérites sont caractérisées par une couleur qui varie en fonction du degré d'évolution et le milieu de formation. Les teintes les plus courantes sont le rouge, l'ocre, le beige. La couleur des latérites est due à la présence du fer oxydé dans leur composition chimique. Trois grands types de sols constituent les horizons latéritiques : les sols ferrigineux, les sols ferralitiques, les ferrisols. Les sols latéritiques peuvent être classés selon l'altération des roches en complexes d'altération de deux formes : les argiles et les oxydes de fer et d'aluminium.

Un profil d'altération typique des massifs latéritiques contient les grands ensembles suivants (du haut vers le bas du profil d'altération) :

- Cuirasse : compacte, rocheuse, vacuolaire, épaisse de 30 à 70cm
- Argile latéritique: de couleur rouge jaune au rouge vif épaisse d'environ 80 cm
- Granite-roche mère : cette roche et surtout les gravillons constituent un excellent matériau d'empierrement.

Sur le plan morphologique on retrouve deux types de latérite:

- Une latérite meuble : elle est généralement graveleuse et se retrouve dans des horizons concrétionnés et gravillonnaires. Elle est utilisée dans la construction des routes et dans la construction des bâtiments en blocs de terre comprimée à ce dernier.

- Une latérite indurée : son durcissement est mis en place ou alors acquis par exposition à l'air. elle est plus spécifiquement utilisée dans la construction des maisons en blocs de terre taillée.

II.3. Graveleux latéritiques et leurs particularités au Burkina Faso

Les graveleux latéritiques constituent un matériau très variable. L'épaisseur des couches exploitables varie entre 20 cm et 50 cm, se situant beaucoup plus autour de 40 cm et très rarement entre 50 et 100 cm de profondeur.

Les graveleux latéritiques du Burkina Faso répondent généralement aux spécificités techniques suivantes :

- Granulométrie : 0/20
- Pourcentage de fines passant au tamis de 80 μ m : 30%
- Refus au tamis de 2 mm : 50 à 80%
- Indice de portance CBR : 18 à 85

Ces spécificités sont issues de la classification internationale HRB, A 24 (0) à A 26 (0)

II.4. Utilisation de la latérite en construction routière

Il n'y a pas de moyens pratiques simples pour établir une distinction utile du point de vue de l'ingénieur. En effet, les seuls critères qui permettent de différencier les matériaux latéritiques et ceux qui ne sont que partiellement latérisés, sont les propriétés chimiques et minéralogiques. Leurs propriétés sont suffisamment proches les unes des autres pour que la distinction qu'on serait tenté de faire entre eux n'ait que peu de signification pour l'ingénieur.

Les latérites sont utilisées dans le corps de chaussée des routes en terre et des routes revêtues. Dans le cas des routes en terre, elles sont utilisées en couche de roulement, et dans le cas des routes revêtues, elles interviennent en couche de fondation et en couche de base. Dans l'un ou l'autre des cas, les latérites doivent répondre à des spécifications selon la couche concernée.

Pour le cas particulier de la couche de base des chaussées revêtues qui fait l'objet de la présente étude, la latérite doit satisfaire aux spécifications suivantes :

- L'indice portant CBR à 95% de la densité sèche maximale Proctor Modifié et après 4 jours d'imbibition doit être au moins égal à 80.
- L'indice de plasticité doit être au plus égal à 20.
- Pourcentage de fines doit être inférieur à 20.

- Le fuseau granulométrique admis est le suivant :

Tableau 1 : fuseau granulométrique du graveleux latéritique en couche de base

Ouverture du tamis en mm	Pourcentage en poids de passant	
	Minimum	maximum
40	95	100
31,5	85	100
20	60	100
10	35	90
5	20	75
2	12	50
1	10	40
0,5	7	35
0,08	4	20

Les latérites peuvent également être utilisées pour la fabrication du béton bitumineux. Cependant, si leur résistance à l'abrasion (érosion) n'est pas vérifiée, on peut compléter le revêtement par une monocouche en gravillons durs simplement sablée.

II.5. IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE DU GRAVELEUX LATÉRITIQUE

Identifier un matériau consiste à déterminer ses propriétés physiques et mécaniques. Les paramètres d'identification du graveleux latéritique sont classiques. On procède généralement à des essais de granulométrie, de limites d'Atterberg, et de compactage.

Par ailleurs, il faut noter que ces essais d'identification se font sur un échantillon représentatif du matériau à identifier. Ainsi, afin d'obtenir un tel échantillon, il faut procéder par une opération appelée l'échantillonnage.

II.5.1. Echantillonnage

L'échantillonnage est l'opération qui a pour but de prélever une fraction d'un matériau telle que la partie prélevée soit représentative de l'ensemble de la masse ou si l'on veut, que la

partie prélevée soit identique à la partie restante. Tous les essais à réaliser dépendent du soin apporté à la réalisation de l'échantillonnage. Il peut s'effectuer de deux manières différentes :

- Par quartage lorsque la quantité de matériau est importante
- Au moyen d'échantillonneurs lorsque la quantité du matériau est peu importante

La norme de référence est la norme française NF P 18-553.

II.5.2. Analyse granulométrique

La granulométrie est la distribution dimensionnelle d'un matériau donné. La méthode utilisée est celle par tamisage à sec après lavage de la norme française NF P 94-056.

Principe

L'essai consiste à tamiser au moyen d'une série de tamis normalisés à mailles carrées, un échantillon représentatif d'un matériau donné. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

Mode opératoire

L'échantillon soumis à l'essai est préalablement séché à l'étuve pendant au moins quatre heures à $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Il est ensuite lavé au tamis de $80\mu\text{m}$, qui représente le plus petit diamètre des tamis. Le lavage est repris plusieurs fois, jusqu'à ce que l'eau de lavage devienne claire. Ensuite le matériau humide est remis à l'étuve pour séchage pendant au moins vingt quatre heures à $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Après cela, le matériau sec est pesé à l'aide d'une balance, afin d'obtenir la masse de l'échantillon sec notée M_s . Le matériau est versé dans une colonne de tamis constituée par l'emboîtement de tamis à mailles carrées, classés de haut en bas dans l'ordre de maille décroissante. Cette colonne est agitée manuellement ou mécaniquement, puis les tamis sont repris un à un en commençant par celui qui a le plus grand diamètre. Le refus des tamis est pesé de façon cumulée, en commençant par celui ayant le plus grand diamètre.

Expression des résultats

La masse des refus cumulés est rapportée à celle de l'échantillon sec et les pourcentages de refus sont calculés par la formule suivante : $\%_{Refus} = \frac{R_i}{M_s} \times 100$ Avec R_i , la masse de refus cumulé à chaque tamis et M_s la masse de l'échantillon sec. Les

pourcentages de tamisât sont calculés par la formule suivante : $\%_{tamisat} = 100 - \left(\frac{R_i}{M_s} \times 100\right)$

II.5.3. Limites d'Atterberg

Les limites sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre :

- Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité : WL)
- Le passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide (limite de plasticité : WP)

Ces limites ont pour valeur des teneurs en eau, exprimées en pourcentage du poids du matériau. La différence $IP = WL - WP$ qui définit l'étendue du domaine plastique est particulièrement importante : c'est l'indice de plasticité.

Principe

L'essai s'effectue en deux phases. La première consiste en la recherche de la limite de liquidité à l'aide de l'appareil de Casagrande ; la deuxième phase consiste en la recherche de la limite de plasticité par la formation de rouleaux de 3 mm de diamètre. La norme de référence est la norme française NF P 94-051.

Préparation de l'échantillon

L'essai s'effectue sur une quantité suffisante de matériau devant être tamisé au tamis de 0.4 mm, pour obtenir 150 à 200 mg de mortier. Avant le tamisage, le matériau est imbibé pendant au moins 12 heures. Après décantation de l'eau, on siphonne avec précaution, puis on soumet l'eau excédentaire à l'évaporation. On recueille ensuite les éléments inférieurs à 0,4 mm à l'état pâteux. C'est cette pâte qui servira à l'exécution de l'essai.

Exécution de l'essai

La recherche de la limite de liquidité se fait à l'aide de l'appareil de Casagrande. La coupelle est remplie avec la pâte. A l'aide de l'outil à rainurer, tenir perpendiculairement la partie biseautée de l'outil vers l'avant de l'appareil, et diviser la pâte en deux. La coupelle fixée sur l'appareil est soumise, à l'aide de la manivelle, à une série de chocs réguliers. On note le nombre de coups nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur de 1 cm apprécié à l'œil. On prélève deux échantillons du matériau de part et d'autre de la rainure dans des verres de montre. On fait ainsi quatre à cinq points à des teneurs en eau

de plus en plus faibles. La limite de liquidité est la teneur en eau qui correspond à une fermeture de 1 cm de lèvres de la rainure après 25 chocs.

La recherche de la limite de plasticité se fait après celle de la limite de liquidité. On dessèche l'échantillon en le malaxant et en l'étalant. On forme une boulette de l'échantillon et à l'aide de la main, on roule l'échantillon de façon à former un rouleau que l'on amincit progressivement jusqu'à ce qu'il ait atteint 3 mm de diamètre. La limite de plasticité est atteinte quand le rouleau de 3 mm se fissure en son milieu quand on le soulève de 1 à 2cm. L'opération est répétée immédiatement après le premier essai. On pèse les deux rouleaux issus des deux essais, et on fait la moyenne des teneurs en eau.

II.5.4. Essai Proctor

L'essai Proctor consiste à compacter dans un moule normalisé, avec une énergie de compactage normalisée (dame de masse normalisée tombant d'une hauteur constante), un échantillon du matériau à différentes de teneur en eau pour en déduire la teneur en eau optimale et la densité sèche maximum correspondante γ_d . On distingue :

- L'essai Proctor Normal avec une énergie de compactage modérée pour remblais en terre (barrages en terre, digues par exemples)
- L'essai Proctor Modifié avec une énergie de compactage intense pour couche de chaussées, pistes d'aérodromes,...). Il correspond au compactage maximum que l'on peut obtenir sur les chantiers avec des engins de compactages puissants.

Pour les besoins de la présente étude concernant les graveleux utilisés en couche de base, c'est l'essai Proctor Modifié qui sera décrit, selon la norme française NF P 94-09.

Principe

Le principe de l'essai consiste à humidifier un sol à plusieurs teneurs en eau et à le compacter selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérée, on détermine la masse volumique sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

D'une manière générale, cette courbe appelée courbe Proctor présente une valeur maximale de la masse volumique sèche, elle est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces 2 valeurs qui sont appelées caractéristiques de compactage Proctor Modifié.

Préparation de l'échantillon

Le matériau est échantillonné dans cinq récipients pour l'exécution de l'essai. La masse de matériau dans chaque récipient doit être comprise entre 5kg et 15 kg. Les matériaux sont alors mouillés à des teneurs en eau différentes. Les teneurs en eau doivent évoluer de 2 %.

Exécution de l'essai

Il faut d'abord solidariser moule, embrase et rehausse, lubrifier les parois intérieures du moule et placer le disque d'espacement au fond du moule. Ensuite, il faut introduire le matériau dans le moule pour que la hauteur de la première couche après compactage soit légèrement supérieure au cinquième de la hauteur du moule.

Procéder au compactage en appliquant 56 coups par couche à raison de huit séquences de sept coups. Après le compactage de la dernière couche, il faut retirer la rehausse, et raser soigneusement au niveau du moule en opérant radialement du centre vers la périphérie du moule. Peser l'ensemble du moule avec le matériau. Démouler le matériau de l'éprouvette. En extraire des échantillons représentatifs pour en déterminer les teneurs en eau.

Expression des résultats

Pour chaque éprouvette compactée il convient de calculer la teneur en eau, la masse du matériau sec, la masse volumique du matériau sec en tenant compte du volume réel du moule utilisé. On reporte les couples (w ; γ_d) sur le graphe et on ajuste la courbe sur les points obtenus. On en déduit les valeurs de γ_d maximum et w optimum, qui correspondent aux valeurs obtenues en projetant le sommet de la courbe respectivement sur l'axe des ordonnées et l'axe des abscisses.

II.5.5. Essai CBR (Californian Bearing Ratio test)

L'essai CBR est un essai de portance, c'est-à-dire qu'il permet de mesurer l'aptitude des matériaux à supporter les charges. On mesure trois types d'indice en fonction des buts fixés :

- l'indice Portant immédiat (IPI) : Il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation des engins de chantier directement sur sa surface lors des travaux
- l'indice C.B.R. immédiat : Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau.
- l'indice C.B.R. après immersion : Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau et soumis à des variations de régime hydrique.

Principe

La charge apportée par le pneu sur la chaussée poinçonne le sol de fondation. Ce poinçonnement est d'autant plus petit que l'épaisseur de la chaussée est grande. Le principe de l'essai CBR est donc de reproduire ce phénomène en compactant le matériau dans les conditions de l'essai Proctor dans un moule CBR puis en mesurant les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de ce matériau. La norme de référence est la norme française NF P 94-09.

Préparation de l'échantillon

Le matériau utilisé pour l'essai CBR est tamisé au tamis de 20 mm et doit avoir une masse d'environ 20 kg. Le matériau est mouillé à la teneur en eau optimum déterminée à partir de l'essai Proctor.

Exécution de l'essai

Pour l'exécution de l'essai, il faut préparer trois moules CBR. Il faut d'abord solidariser moule, embrase et rehausse, lubrifier les parois intérieures du moule et placer le disque d'espacement au fond du moule. Le compactage du matériau se fait à l'aide de la dame Proctor Modifié. Les moules sont compactés chacun en cinq couches. Le premier moule est compacté à 10 coups, le deuxième à 25 coups, et le troisième à 56 coups, et cela par couche.

Après le compactage de chaque moule, il faut retirer la rehausse puis araser soigneusement l'éprouvette (du centre vers la périphérie). Ensuite il faut peser au gramme près, l'ensemble moule et matériau. Après la pesée, il faut retourner le moule puis le fixer à la plaque de base. Déposer les surcharges dans le moule et imbiber les trois moules pendant quatre jours. Après l'imbibition, on procède à l'essai de poinçonnement. Placer l'ensemble plaque de base, moule CBR, éprouvette sur la presse, en position centrée par rapport au piston. Le poinçonnement se fait à vitesse constante et on note les efforts de poinçonnement correspondant à des valeurs d'enfoncements prédéfinies par la norme. Une fiche d'étalonnage permet de lire la force correspondant à la lecture faite sur la presse. On procède ainsi pour chaque moule.

Expression des résultats

Les valeurs obtenues lors du poinçonnement sont reportées sur un graphe effort-déformation. On obtient alors trois courbes concaves correspondant aux trois moules poinçonnés. Lire sur chacune des courbes, les valeurs des efforts correspondant à 2,5mm et

5mm d'enfoncement. Ces valeurs sont utilisées pour effectuer les calculs suivants :

$$\frac{\text{effort de pénétration à 2,5mm d'enfoncement (KN)}}{13,5} \times 100$$

$$\frac{\text{effort de pénétration à 5mm d'enfoncement (KN)}}{20} \times 100$$

L'indice recherché par courbe est par convention la plus grande de ces valeurs. Les trois valeurs ainsi obtenues sont utilisées pour le tracé de la courbe indice-densité sèche sur laquelle sont lus les indices CBR après immersion à 90%, 95% et 98% de la densité sèche maximale de référence. Il s'agit d'une courbe indice-densité sèche.

III. LE GRANITE

III.1. DEFINITION

Le granite est une roche magmatique plutonique à texture grenue, c'est-à-dire entièrement cristallisée et composée de minéraux bien développés et visibles à l'œil nu. Celle-ci est le résultat du refroidissement lent, en profondeur, de grandes masses de magma qui formeront des plutons, ces derniers étant actuellement en surface grâce au jeu de l'érosion qui a découpé les roches sus-jacentes. Ces magmas, acides (c'est-à-dire relativement riches en silice) sont essentiellement le résultat de la fusion partielle de la croûte terrestre continentale. Certains granites (plagiogranites) rencontrés en petits plutons dans la croûte océanique sont, quant à eux, le résultat de la différenciation ultime de magmas basiques. Les granites sont formés de minéraux en grains (cristaux), tous visibles à l'œil nu ; cette apparence leur vaut leur nom dérivé du latin *granum*, grain. Ces minéraux sont principalement du quartz, des micas (biotite et/ou muscovite), des feldspaths potassiques (orthoses) et des plagioclases. Ils peuvent contenir également de la hornblende, de la magnétite, du grenat, du zircon et de l'apatite. En tout, on dénombre aujourd'hui plus de 500 couleurs de granites différentes.

III.2. TYPOLOGIE DE GRANITE

- Les granites calco-alcalins : Ils sont d'origine mixte et ont la particularité d'être grenus.
- Les granites tholéitiques : Ils sont de teintes claires et riches en feldspaths
- Les granites alcalins : Ils sont constitués de minéraux appelés feldspaths alcalins.
- Les leuco granites : Ils sont relativement riches en alumine et sont caractérisés par la présence de muscovite (mica blanc) à côté de la biotite.

- Les granites d'anatexie : Ils sont issus de la fusion de la croûte continentale.

III.3. IDENTIFICATION DU GRANITE CONCASSE

III.3.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est exécutée sur le granite suivant le même principe que sur la graveleux latéritique. La différence réside dans la préparation de l'échantillon. L'analyse granulométrique réalisée sur les granulats est l'analyse granulométrique par tamisage, décrite par la norme française NF P 18-560.

III.3.2. Mesure du coefficient d'aplatissement

Principe

Le coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. L'essai consiste à effectuer un double tamisage effectué selon la norme française NF P 18-561:

- Tamisage par voie sèche sur tamis à mailles carrées pour la détermination des classes granulaires du matériau à travers l'échantillon représentatif
- Tamisage des différentes classes granulaires sur grilles à fentes parallèles normalisées.

Exécution de l'essai

On prélève un échantillon représentatif dont la masse est d'environ 5 à 7 kg. L'échantillon est lavé et séché à l'étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ pendant au moins 4 h. il est ensuite écrêté au tamis à mailles carrées de 4mm puis pesé au gramme près avant le début de l'essai.

Le premier s'effectue sur colonne de tamis à mailles carrées et on pèse chaque classe granulaire séparément. On procède au tamisage sur grille en fonction de la classe granulaire correspondante, puis on pèse au gramme près le passant sur la grille correspondant à chaque classe granulaire.

Expressions des résultats

Le coefficient d'aplatissement est calculé pour chaque classe granulaire selon la formule $A_{classe} = 100 \times \frac{M_e}{M_g}$, avec M_e , la masse de chaque classe granulaire et M_g , la masse du refus au tamis à mailles carrées de 4 mm pour chaque classe granulaire. Le coefficient d'aplatissement global A est calculé à partir de la formule $A = 100 \times \frac{\sum M_e}{\sum M_g}$, avec $\sum M_e$, la

masse totale de toutes les classes granulaires et ΣMg , la masse totale du refus au tamis à mailles carrées de 4 mm.

III.3.3. Essai de propreté superficielle

Principe

La propreté superficielle est le coefficient pondéral de particules inférieures à 0,5 mm contenues dans un échantillon de matériau. Il s'agit donc, pour ce qui est du principe de l'essai, de séparer par lavage sur tamis de 0,5mm les particules inférieures à cette dimension. La norme de référence est la norme française NF P18-591.

Exécution de l'essai

Une masse d'échantillon d'environ 5 à 7 kg est prélevée. Cette masse est pesée au gramme près. On prépare deux échantillons à partir de l'échantillon pour laboratoire. Les deux échantillons sont pesés au gramme près, et on obtient respectivement M_{1h} pour le premier échantillon et M_h pour le deuxième.

Le premier échantillon est séché à l'étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante au gramme près. On le pèse et on obtient une masse sèche M_{1s} . Il est ensuite lavé au tamis de 0,5mm, puis on sèche le refus à l'étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante au gramme près. On tamise le refus séché au tamis de 0,5mm pendant une minute environ, et on le pèse pour obtenir une masse sèche m' du refus.

Expression des résultats

On calcule d'abord la masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai M_s à partir de la formule suivante : $M_s(g) = M_h \times \frac{M_{1s}}{M_{1h}}$. Ensuite, on calcule la masse sèche m des éléments inférieurs à 0,5mm par la formule $m(g) = M_s - m'$. La propreté superficielle P est donnée par la relation suivante : $P = 100 \times \frac{m}{M_s}$

III.3.4. Essai Los Angeles

Principe

Le principe de cet essai est la détermination de la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques. Il fait l'objet de la norme française NF P 18-573. Le coefficient Los Angeles est calculé à partir du passant au tamis de 1,63mm, mesuré en fin d'essai.

Exécution de l'essai

En fonction de la classe granulaire du matériau, on fait le choix d'une classe granulaire comprise dans la classe du matériau. On tamise le matériau entre les tamis correspondant à la classe granulaire choisie, et on prélève exactement une masse $A = 5000$ g de cette classe pour l'exécution de l'essai. En fonction de la classe granulaire choisie, un abaque donne le nombre de billes normalisées à utiliser pour l'essai. Introduire le matériau et les billes dans l'appareil. Après 500 tours soit 15mn on arrête l'appareil et on retire le matériau. Celui-ci est tamisé au tamis de 1,63mm, lavé, étuvé puis pesé. Soit B la masse du refus au tamis de 1,63mm.

Expression des résultats

Le coefficient de Los Angeles exprimé en pourcentage est obtenu par la formule suivante : $LA = \frac{A-B}{A} \times 100$

III.3.5. Essai Micro-Deval

Principe

L'essai a pour but de reproduire, dans un cylindre en rotation, des phénomènes d'usure. Les modalités de cet essai font l'objet de la norme française NF P 18-572.

Exécution de l'essai

En fonction de la classe granulaire du matériau, on fait le choix d'une classe granulaire comprise dans la classe du matériau. On tamise le matériau entre les tamis correspondant à la classe granulaire choisie, et on prélève exactement une masse $A = 500$ g de cette classe pour l'exécution de l'essai. En fonction de la classe granulaire choisie, un abaque donne le nombre de billes normalisées à utiliser pour l'essai. L'ensemble de ces billes constitue la charge abrasive. Introduire le matériau et les billes dans une marmite cylindrique normalisée. Déposer la marmite sur l'appareil et le mettre en marche. Après 2h, l'appareil s'arrête de façon automatique et on retire le matériau. Celui-ci est tamisé au tamis de 1,63mm, lavé, étuvé puis pesé. Soit B la masse du refus au tamis de 1,63mm.

Expression des résultats

Le coefficient Micro-Deval, exprimé en pourcentage est obtenu par la formule suivante : $MDE = \frac{A-B}{A} \times 100$

IV. AMELIORATION DU GRAVELEUX LATÉRITIQUE AVEC DU CONCASSE

IV.1. LA TECHNIQUE DE LITHOSTABILISATION

IV.1.1. Principe

La lithostabilisation, comme signifié préalablement, consiste à améliorer la portance des graveleux latéritiques par l'ajout de granite concassé. Le rôle du granite dans le mélange est de renforcer d'une part les nodules latéritiques compris entre 10 et 20 mm qui sont les plus sensibles en général et les plus exposés aux effets nocifs des différentes étapes de traitement du matériau : gerbage, brassage, régalage et compactage, par adjonction d'éléments de diamètres similaires; d'autre part, de renforcer le « squelette » des graveleux dans son ensemble par adjonction de gros éléments.

IV.1.2. Mise en œuvre

La mise en œuvre se fait in situ et doit respecter les étapes suivantes :

- Approvisionnement et épandage du graveleux latéritique à l'état naturel ; réglage sans compactage ;
- Humidification partielle du graveleux répandu par passage d'une citerne à eau munie d'une rampe de distribution ;
- Approvisionnement et épandage du concassé sur le graveleux précédemment répandu à l'état naturel ;
- Scarification de l'ensemble graveleux naturel et concassé à l'aide du scarificateur de niveleuse ;
- Humidification par passage de la citerne à eau ;
- Mise en cordon du mélange à la lame de niveleuse ;
- Malaxe et humidification du mélange par déplacements latéraux du cordon, toujours à la lame et passages alternés de la citerne à eau ;

- Lorsque le mélange est jugé homogène et la teneur en eau suffisante, épandage du cordon, réglage et compactage ; le compactage est réalisé en grande partie au compacteur à pneu et parachevé au compacteur vibrant.
- Cette mise en œuvre a pour inconvénient la ségrégation des grains.

IV.2. Identification des graveleux latéritiques et du granite concassé

IV.2.1. Gravelleux latéritiques

Chacun des matériaux latéritiques a fait l'objet d'une série d'essais dont le but est de permettre leur identification. Il s'agit notamment de l'analyse granulométrique, les limites d'Atterberg, l'essai Proctor modifié et l'essai CBR.

IV.2.1.1. Emprunt n°01

➤ Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique réalisée sur un échantillon de l'emprunt n°01 a permis d'obtenir les résultats consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Analyse granulométrique du matériau issu de l'emprunt n°01

Ouverture du tamis en mm	50	40	31,5	20	10	5	2	1	0,5	0,08
Pourcentage en poids de passant	100	100	91	86	69	44	26	21	18	11

Ces résultats permettent de tracer la courbe granulométrique suivante :

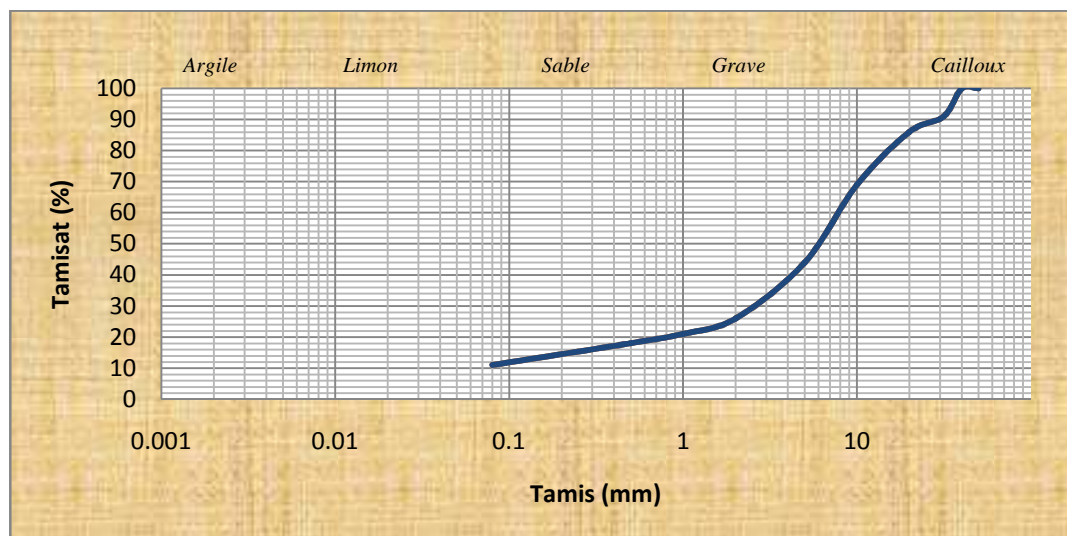


Figure 1 : Courbe granulométrique du matériau issu de l'emprunt n°01

➤ **Limites d'Atterberg**

Les essais réalisés sur l'emprunt n°01 ont permis d'avoir les résultats suivants :

- Limite de liquidité WL (%) = 38
- Limite de plasticité WP (%) = 20
- Indice de plasticité IP (%) = 18

➤ **Essai Proctor Modifié**

Les références de compactage obtenues à l'issue de l'essai Proctor Modifié sont :

- la teneur en eau optimum W_{OPM} (%) = 10,8
- la densité sèche maximale γ_{dmax} = 2,05

➤ **Essai CBR**

Pour l'exécution de l'essai, le matériau a été compacté sur la base des références de compactage obtenues par l'essai de Proctor Modifié. Après quatre jours d'imbibition, et après l'essai de poinçonnement, l'indice portant CBR de ce matériau a été estimé à 60 à 95% de l'Optimum Proctor et 88 à et 98% de l'Optimum Proctor.

Les détails de calcul des essais réalisés sur l'emprunt n°01 sont référés dans l'annexe 1.

IV.2.1.2. Emprunt n°02

➤ **Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique réalisée sur un échantillon de l'emprunt n°02 a permis d'obtenir les résultats consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Analyse granulométrique du matériau issu de l'emprunt n°02

Ouverture du tamis en mm	50	40	31,5	20	10	5	2	1	0,5	0,08
Pourcentage en poids de passant	100	100	98	97	82	60	47	42	36	26

Ces résultats permettent de tracer la courbe granulométrique suivante :

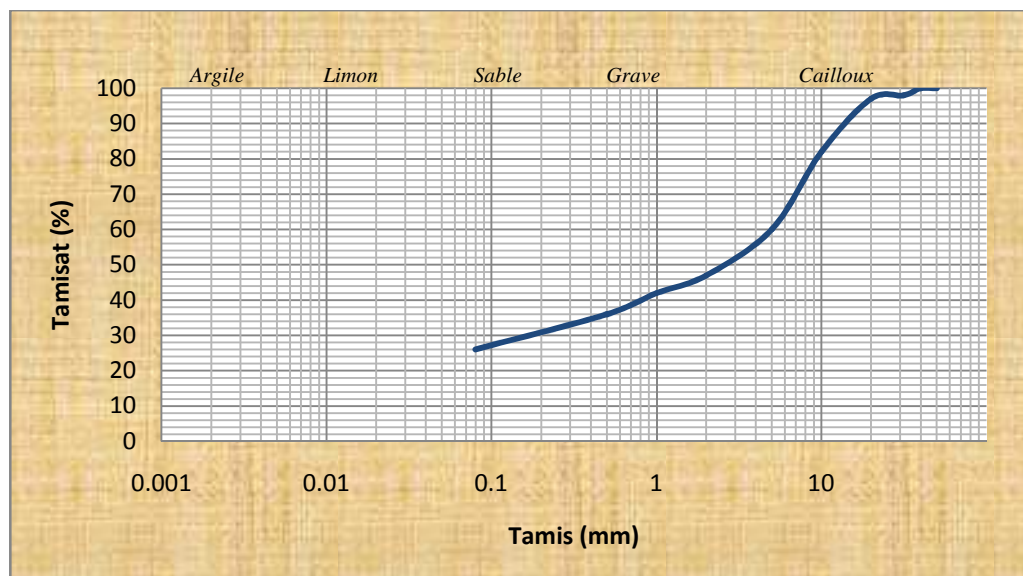


Figure 2 : Courbe granulométrique du matériau issu de l'emprunt n°02

➤ **Limites d'Atterberg**

Les essais réalisés sur l'emprunt n°02 ont permis d'avoir les résultats suivants :

- Limite de liquidité WL (%) = 31
- Limite de plasticité WP (%) = 18
- Indice de plasticité IP (%) = 13

➤ **Essai Proctor Modifié**

Les références de compactage obtenues à l'issue de l'essai Proctor Modifié sont :

- la teneur en eau optimum W_{OPM} (%) = 10,5
- la densité sèche maximale γ_{dmax} = 1,97

➤ **Essai CBR**

Pour l'exécution de l'essai, le matériau a été compacté sur la base des références de compactage obtenues par l'essai de Proctor Modifié. Après quatre jours d'imbibition, et après l'essai de poinçonnement, l'indice portant CBR de ce matériau a été estimé à 17 à 95% de l'Optimum Proctor et 23 à et 98% de l'Optimum Proctor.

Les détails de calcul des essais réalisés sur l'emprunt n°02 sont référés dans l'annexe2.

IV.2.1.3. Analyses des résultats d'identification des graveleux latéritiques

Les résultats des essais réalisés sur les échantillons de l'emprunt n°01 et de l'emprunt n°02 sont présentés dans le tableau ci-dessous afin de faciliter leur analyse.

Tableau 4 : Synthèse des résultats d'identification des matériaux issus des emprunts 1 et 2

	Granulométrie passants (%)			Limites d'Atterberg			Proctor modifié		Portance CBR (%OPM)	
	0,08 mm	2 mm	10 mm	W _L	W _P	IP	WOPM (%)	γ _d OPM (t/m ³)	95	98
Emprunt n°01	11	26	69	38	20	18	10,8	2,05	60	88
Emprunt n°02	26	47	82	31	18	13	10,6	1,97	17	23

➤ **Analyse des propriétés physiques**

En observant la courbe granulométrique de l'emprunt n°01, on peut voir une régularité qui se définit entre les diamètres 0,08 mm et 3,15 mm. Une cassure à ce dernier diamètre marque une ascendance de la courbe jusqu'au diamètre de 10 mm.

L'observation de la courbe granulométrique de l'emprunt n°02 révèle une allure similaire à celle de la courbe granulométrique de l'emprunt n°01. En effet, de 0,08 mm à 4mm, la courbe est régulière. Puis, à partir de 4mm, on observe une ascendance de la courbe qui se poursuit jusqu'au diamètre de 10 mm.

Dans les deux cas, on peut dire se basant sur l'allure des courbes granulométriques, qu'il s'agit de matériau à granulométrie étalée

Ces observations peuvent être confirmées par le calcul des coefficients d'uniformité et de courbure. Le coefficient d'uniformité indique si la granulométrie du matériau est uniforme ou étalé et le coefficient de courbure donne la courbure des particules du matériau. Plus le coefficient d'uniformité est élevé, plus la granulométrie du matériau est étalée. Plus il est faible, plus la granulométrie du matériau est uniforme. Si la valeur du coefficient de courbure est comprise entre 1 et 3, alors on dira qu'il s'agit d'un matériau « bien gradué ». Dans le cas contraire, le matériau est dit « mal gradué ».

Ces coefficients se calculent à partir des diamètres correspondant à 10%, 30% et 60% de passants. Soit :

- D₁₀, le diamètre correspondant à 10% de passants,
- D₃₀, le diamètre correspondant à 30% de passants,
- D₆₀, le diamètre correspondant à 60% de passants,

Le tableau ci-dessous indique les coefficients d'uniformité et de courbure pour chacun des emprunts. Notons que pour l'emprunt n°02, D₁₀ a été pris égal à 0,08mm car le pourcentage minimal de passants est de 26 qui correspond aux passants au tamis de 0,08mm.

Tableau 5 : calcul des coefficients de courbure et d'uniformité des matériaux issus des emprunts 1 et 2 à l'état naturel

	Emprunt n°01	Emprunt n°02
D₁₀ (mm)	0.08	0.08
D₃₀ (mm)	3	0.25
D₆₀ (mm)	8	5
Coefficient d'uniformité $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	100	62,5
Coefficient de courbure $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$	14	0,16

Pour les deux emprunts, on note des coefficients d'uniformité très élevés. Cela confirme que l'emprunt n°01 et l'emprunt n°02 sont des matériaux à granulométrie étalée.

Les valeurs des coefficients de courbure, qui n'entrent pas dans l'intervalle 1 à 3, permettent de dire qu'il s'agit de matériaux mal gradués, déficients en certaines tailles de particules.

➤ **Analyse des propriétés mécaniques**

L'emprunt n°01 présente une densité sèche élevée. Mais on note un indice portant CBR de 60 à 95% de la densité sèche maximale Proctor Modifié et après 4 jours d'imbibition (voir tableau 4). Cela s'explique par la déficience de l'emprunt n°01 en particules grossières, révélée par le calcul du coefficient de courbure. En effet, ce sont les éléments grossiers qui renforcent le caractère résistant d'un matériau donné.

L'emprunt n°02 présente une densité très faible ($\gamma_d=1,97 \text{ t/m}^3$) et un indice portant CBR de 17 à 95% de la densité sèche maximale Proctor Modifié et après 4 jours d'imbibition (voir tableau 4). Ces valeurs sont très faibles pour un matériau devant être utilisé en construction routière. Cela peut s'expliquer par le fait que la proportion de fines est très élevée (26%) et la déficience en éléments grossiers.

➤ **Conclusion sur les emprunts de graveleux latéritiques naturels**

Les emprunts n°01 et n°02 sont des matériaux à granulométries étalées. Ils présentent une déficience en éléments de diamètre compris entre 3,15 et 11mm pour l'emprunt n°01, et 4 à 11mm pour l'emprunt n°02. De plus, l'emprunt n°02 est un matériau à très forte proportion de fines.

D'un point de vue technique routière, les caractéristiques géotechniques des emprunts 1 et 2 ne permettent pas leur utilisation en couche de base (CBR à 95% OPM inférieur à 80).

Une amélioration s'impose donc pour ces deux matériaux.

IV.2.2. Le granite concassé

Les trois classes granulaires choisies pour la présente étude sont les classes 0/20, 0/31,5 et 5/20. Les classes granulaires 0/20 et 0/31,5 ont chacune été soumises aux essais suivants :

- Analyse granulométrique,
- Propreté superficielle,
- Mesure du coefficient d'aplatissement
- Los Angeles
- Micro Deval Humide

La classe granulaire 5/20 est obtenue par tamisage du concassé 0/20 au tamis de 5mm. L'échantillon issu de cette classe n'a donc été soumis qu'à l'analyse granulométrique. Les classes 5/20 et 0/20 ont donc les mêmes résultats en ce qui concerne les autres essais cités plus haut.

IV.2.2.1. Analyse granulométrique

L'essai a permis d'obtenir les résultats consignés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6 : Analyse granulométrique des concassés 0/20, 0/31,5 et 5/20

Ouverture du tamis en mm	Pourcentage en poids de passants		
	Concassé 0/20	Concassé 0/31,5	Concassé 5/20
40	100	100	100
31,5	100	77	100
20	86	38	84
10	35	18	26
5	18	12	1
2	8	6	0
1	6	4	0
0,5	4	2	0
0,08	1	1	0

Les courbes granulométriques correspondant à chaque classe granulaire sont présentées dans le graphique ci-dessous :

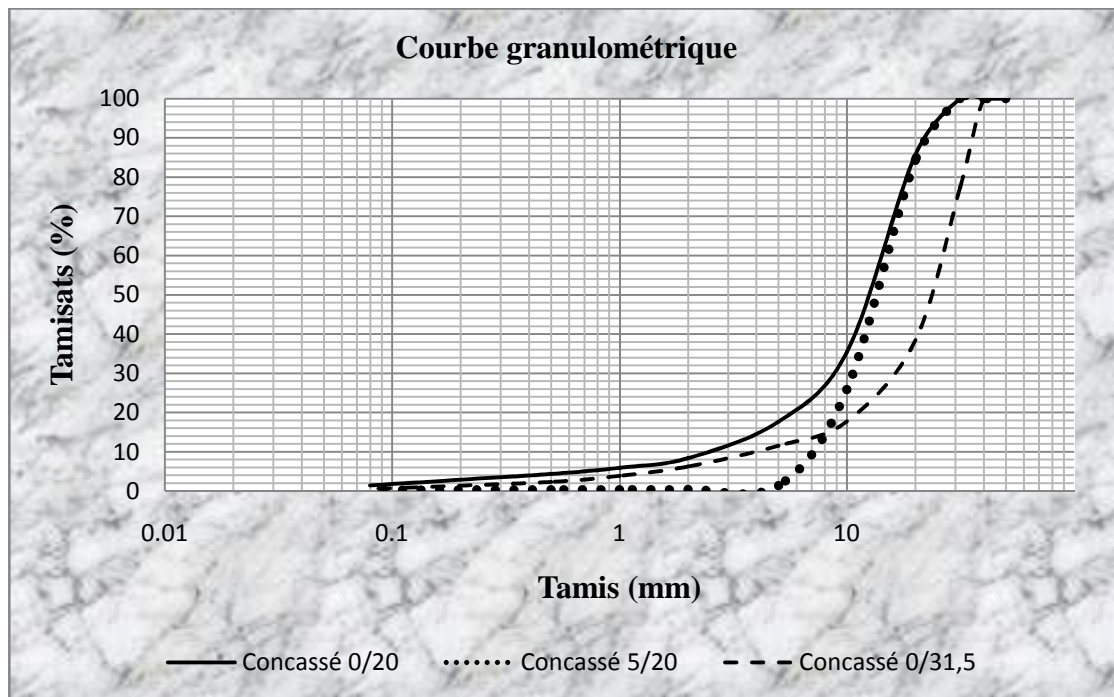


Figure 3 : Courbe granulométrique des concassés de classes granulaires 0/20, 0/31,5 et 5/20

IV.2.2.2. Les autres essais

Le tableau suivant est une synthèse des résultats obtenus pour les essais d’aplatissement, de propreté, de Los Angeles et de Micro-Deval.

Tableau 7 : Récapitulatif des résultats d’essais d’aplatissement, de propreté, de Los Angeles et de Micro-Deval.

Classe granulaire	Coefficient d’Aplatissement	Propreté Superficielle	Los Angeles	Micro-Deval
0/20	25	4	25	6
5/20	25	4	25	6
0/31,5	27	3	33	12

Les détails de calcul des essais réalisés sur les granites concassés 0/20, 5/20 et 0/31,5 sont référés respectivement dans les annexes 3, 4 et 5.

IV.2.2.3. Analyse des résultats sur le granite concassé

➤ **Analyse des caractéristiques de fabrication**

L'analyse granulométrique réalisée a permis de confirmer les classes des matériaux. On peut aussi remarquer que ce sont des matériaux contenant très peu de fines pour les classes de 0/20 et 0/31,5. La classe 5/20, comme l'indique son nom, n'en contient pas. Les coefficients d'uniformité et de courbure sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 8 : calcul des coefficients de courbure et d'uniformité des concassés 0/20, 0/31,5 et 5/20

	Concassé 0/20	Concassé 0/31,5	Concassé 5/20
D₁₀ (mm)	3	4	7
D₃₀ (mm)	9	18	10
D₆₀ (mm)	17	28	19
Coefficient d'uniformité Cu	6	7	3
Coefficient de courbure Cc	2	3	1

Les coefficients d'uniformité sont de faibles valeurs et les coefficients de courbure sont compris dans l'intervalle 1 à 3. Cela permet de conclure qu'il s'agit de matériaux à granulométrie uniforme.

Les coefficients d'aplatissement dont les valeurs sont de 25, 25 et 27 respectivement pour la classe 0/20, 5/20 et 0/31,5 montrent que les matériaux contiennent moins de 30% d'éléments plats. Les matériaux sont donc constitués d'éléments à forme assez favorable, c'est-à-dire cubique ou sphérique.

➤ **Analyse des caractéristiques intrinsèques des granites concassés**

Rappelons que pour être utilisé en couche de base, le « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux » recommande un coefficient de Los Angeles inférieur à 40 et un coefficient de Micro-Deval inférieur à 15. Les granites concassés répondent à ces critères de résistance.

➤ **Conclusion sur les granites concassés**

Les granites concassés sont des matériaux à granulométries uniformes. Leurs caractéristiques intrinsèques et leurs caractéristiques de fabrication en font des matériaux susceptibles d'être utilisés pour l'amélioration des graveleux latéritiques ici étudiés.

IV.2.3. Le lithostab

Les graveleux latéritiques étudiés ci-dessus ont fait l'objet d'une amélioration au concassé de granite dont les propriétés physiques et mécaniques ont été développés précédemment.

L'objectif de l'étude est de voir l'influence de l'amélioration au concassé sur les propriétés des graveleux latéritiques notamment **la portance CBR**.

Les matériaux issus des emprunts ont été améliorés aux concassés de granite de classes 0/20, 0/31,5 et 5/20. Les mélanges ont été faits à 20 et 30%. Chacun des échantillons améliorés a fait l'objet des essais suivants (voir résultats dans les tableaux 9 et 10) :

- Analyse granulométrique
- Limites d'Atterberg
- Proctor Modifié
- Essai CBR

Tableau 9 : Synthèse des résultats d'essais réalisés sur l'emprunt n°01 amélioré

EMPRUNT N°01	Classe granulaire du concassé	Pourcentage de concassé	Granulométrie passant (%)			Limites d'Atterberg			Proctor Modifié		Portance CBR (% OPM)	
			0,08 mm	2 mm	10 mm	W _L	W _p	IP	WOPM (%)	γ _d OPM (t/m ³)	95	98
			0/20	20%	14	34	78	41	23	18	9,7	2,15
	30%	9	29	70	31	19	12	8,6	2,07	90	160	
0/31,5	20%	9	28	66	44	24	20	9,5	2,14	66	102	
	30%	7	26	67	43	24	19	9,2	2,18	92	124	
5/20	20%	10	31	78	46	24	22	9,9	2,13	71	92	
	30%	9	29	67	46	25	21	8,6	2,17	86	143	

Tableau 10 : Synthèse des résultats d'essais réalisés sur l'emprunt n°02 amélioré

EMPRUNT N°02	Classe granulaire du concassé	Pourcentage de concassé	Granulométrie passant (%)			Limites d'Atterberg			Proctor Modifié		Portance CBR (% OPM)	
			0,08 mm	2 mm	10 mm	W _L	W _p	IP	WOPM (%)	γ _d OPM (t/m ³)	95	98
			0/20	20%	12	28	75	29	16	13	7,6	2,16
	30%	9	21	66	30	15	15	7,1	2,2	102	140	
0/31,5	20%	10	23	69	31	16	15	8,2	2,26	106	124	
	30%	7	19	63	30	16	14	8,1	2,16	53	79	
5/20	20%	9	23	74	32	17	15	8,8	2,18	47	63	
	30%	10	26	74	30	17	13	6,9	2,22	96	124	

➤ **Analyse de la granulométrie**

De façon générale, on constate dans le cas de l'emprunt n°01, que les granulométries du lithostab ont connu une amélioration. Il y a une diminution de la proportion de fines (passant au tamis de 0,08mm) qui s'explique par l'ajout de matériau granitique à faible proportion de fines. Les mélanges réalisés avec l'emprunt n°02 ont connu une diminution considérable de la proportion de fines qui passe de 26% à 10% en moyenne. De plus, les courbes granulométriques sont beaucoup plus régulières, en comparaison avec la courbe granulométrique de l'emprunt n°01 à l'état naturel (Voir courbes granulométriques des matériaux améliorés dans les annexes 6 à 11). L'emprunt n°02 par contre n'a pas connu une amélioration notable de l'allure de sa courbe granulométrique après amélioration (Voir courbes granulométriques des matériaux améliorés dans les annexes 12 à 17).

Les coefficients d'uniformité et de courbure sont consignés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 11 : Calcul des coefficients d'uniformité et de courbure du lithostab réalisé avec l'emprunt n°01

		LITHOSTABILISATION					
		Concassé 0/20		Concassé 0/31,5		Concassé 5/20	
		20%	30%	20%	30%	20%	30%
EMPRUNT N°01	D ₁₀	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1
	D ₃₀	1,5	2,5	2,5	3,0	1,8	2,1
	D ₆₀	6,0	8,0	9,0	8,0	6,3	8,0
	C _U	75,0	80,0	90,0	26,7	78,8	80,0
	C _C	4,7	7,8	6,9	3,8	6,4	5,5

Tableau 12 : Calcul des coefficients d'uniformité et de courbure du lithostab réalisé avec l'emprunt n°02

		LITHOSTABILISATION					
		Concassé 0/20		Concassé 0/31,5		Concassé 5/20	
		20%	30%	20%	30%	20%	30%
EMPRUNT N°02	D ₁₀	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1
	D ₃₀	2,5	4,0	4,0	4,3	3,5	3,2
	D ₆₀	7,0	9,0	8,0	9,5	8,0	7,5
	C _U	87,5	90,0	100,0	30,2	80,0	93,8
	C _C	11,2	17,8	25,0	6,2	15,3	16,5

Les observations faites sur l'allure des courbes granulométriques se confirment par les coefficients ci-dessus calculés. L'emprunt n°01, à l'état naturel, a un coefficient d'uniformité égal à 100, et un coefficient de courbure égal à 14. Après amélioration, on constate que le coefficient d'uniformité est en moyenne de 72 et le coefficient de courbure de 6 en moyenne. Il y a donc une amélioration très marquée de l'uniformité du matériau.

L'emprunt n°02, à l'état naturel, a un coefficient d'uniformité égal à 62,5, et un coefficient de courbure égal à 0,1. Après amélioration, on constate que le coefficient d'uniformité est en moyenne de 80 et le coefficient de courbure de 15 en moyenne. Les coefficients ont donc connu une hausse, ce qui permet de dire que l'emprunt n°02 est encore plus étalé à l'état naturel qu'après amélioration. Cela pourrait s'expliquer par la répartition granulométriques des éléments du matériau à amélioré (le graveleux latéritique) et de l'apport (le granite concassé).

Il ya une particularité qui se note au niveau du lithostab réalisé à 30% avec le concassé 0/31,5, dans le cas des deux emprunts. En effet, pour l'emprunt n°01 comme pour l'emprunt n°02, le coefficient d'uniformité a considérablement baissé (Voir tableaux 11 et 12). De plus, on remarque que ces cas sont ceux qui présentent la plus faible proportion de fines. Cela s'explique car le concassé 0/31,5 contient peu de fines et l'apport en éléments grossiers améliorent la granulométrie en renforçant le « squelette » du matériau amélioré.

➤ **Analyse de l'indice de plasticité**

Les matériaux améliorés présentent un indice de plasticité voisin de celui des emprunts naturels. En effet, l'emprunt n°01, après amélioration, a un indice de plasticité en moyenne de 18,3, ce qui est très proche de la valeur de son indice de plasticité à l'état naturel qui est de 18. L'emprunt n°02 après amélioration, a un indice de plasticité en moyenne de 14,1, ce qui est très proche de la valeur de son indice de plasticité à l'état naturel qui est de 13. Cela s'explique par la faible proportion de fines dans le concassé incorporé.

➤ **Analyse des densités sèches à l'Optimum Proctor Modifié**

Les densités sèches connaissent globalement une hausse après amélioration (voir tableaux 9 et 10). Ceci est plus remarquable pour l'emprunt n°02 qui passe d'une densité de $1,97 \text{ t/m}^3$ à $2,2 \text{ t/m}^3$ en moyenne. L'emprunt n°01 quant à lui passe après amélioration d'une densité de $2,05 \text{ t/m}^3$ à $2,1 \text{ t/m}^3$ en moyenne. La densité maximale atteinte est de $2,18 \text{ t/m}^3$ pour l'emprunt n°01 et $2,26 \text{ t/m}^3$ pour l'emprunt n°02. Cette augmentation des densités est due au

renforcement du « squelette » du matériau naturel et à la diminution de la proportion de fines par l'apport du granite concassé.

On remarque par ailleurs que la densité sèche du lithostab est en général fonction du pourcentage de granite concassé utilisé pour l'amélioration du graveleux latéritique. En effet, la densité sèche est plus élevée pour les mélanges à 30% que pour ceux à 20%.

Cependant, l'emprunt n°02 amélioré avec le concassé 0/31,5 à 30% ne s'aligne pas sur cette logique. Il a une densité de $2,16 \text{ t/m}^3$, inférieur à la densité de cet emprunt amélioré avec le concassé 0/31,5 à 20% qui est de $2,26 \text{ t/m}^3$. La proportion de fines dans l'emprunt n°02 a fortement baissée après l'amélioration avec le concassé 0/31,5 à 30%. En effet, elle est passée de 26% à 7%. On pourrait s'attendre à une augmentation de la densité. La diminution de la densité sèche pourrait s'expliquer par une ségrégation des particules à gros diamètre lors du compactage.

L'emprunt n°01 amélioré avec le concassé 0/20 à 30% a aussi connu une baisse de sa densité sèche. Analysons l'évolution des indices CBR pour tenter d'en dégager une explication.

➤ **Analyse des indices portant CBR**

De façon générale, les mélanges à 20% ont des indices portant CBR inférieurs à ceux des mélanges à 30%. Cela s'explique par le fait que les densités sèches des mélanges à 20% sont inférieures à celles des mélanges à 30%.

La relation entre la densité sèche à l'Optimum Proctor Modifié et l'indice portant CBR est due au fait que plus le matériau est dense, moins il contient des vides. Cela entraîne que le matériau est très consolidé. Le poinçonnement nécessite alors une force de plus en plus importante et cela s'en ressent au niveau de l'indice portant CBR.

La relation existante entre la densité sèche et l'indice portant CBR est vérifiée au niveau de la particularité spécifiée plus haut. En effet, l'emprunt n°02 amélioré avec le concassé 0/31,5 à 30% qui a une densité sèche faible enregistre des indices portant CBR inférieurs à ceux enregistrés pour les mélanges à 20%, à 95% et 98% (Voir tableau 10).

On constate cependant que pour l'emprunt n°01 amélioré avec le concassé 0/20, les indices portants CBR à 95% et 98% sont plus élevés à 30% de mélange qu'à 20% (Voir tableau 10). Pourtant sa densité à 30% est plus faible que celle à 20%. On peut expliquer cela par le fait qu'il y ait eu des vides dans le matériau après compactage, ce qui a fait baisser la densité sèche. Mais le renforcement du « squelette » a permis l'amélioration des indices portant CBR.

➤ **Conclusions sur la lithostabilisation**

L'indice de plasticité du matériau subi une variation négligeable lors de l'amélioration du graveleux latéritique au concassé de granite. Il ya une relation entre la densité sèche et l'indice portant CBR

D'un point de vue technique routière, lors de l'amélioration du graveleux latéritique avec le concassé de granite, l'indice portant CBR atteint 80 en général à 30% de mélange. L'étude réalisée révèle que l'amélioration au concassé 0/20 à 30% donne les meilleurs résultats en ce qui concerne l'indice portant CBR.

V. CONCLUSION

Un matériau, pour être utilisé en couche de base au Burkina Faso, doit avoir un indice portant CBR supérieur à 80 à 98 % OPM. Mais la rareté de matériau répondant à cette exigence a conduit à la mise au point d'une technique d'amélioration du graveleux latéritique naturel avec du concassé de granite. Cette technique est appelée lithostabilisation.

Les études réalisées au laboratoire ont concernées deux matériaux latéritiques ne pouvant pas être utilisés à l'état naturel en couche de base. En effet, leurs indices portant CBR est de 60 à 95% de l'Optimum Proctor Modifié pour le premier matériau latéritique, et 17 pour le second. Ces matériaux ont été améliorés avec du granite concassé de trois classes (0/20, 0/31,5, 5/20), à 20% et 30%. Le but de ces études est d'observer l'influence de la classe granulaire et le pourcentage de granite concassé sur l'évolution de l'indice portant CBR.

On constate de façon générale, que les mélanges à 30% donnent de meilleurs résultats que ceux à 20%. De plus, pour les deux emprunts, ce sont les mélanges avec le concassé 0/20 à 30% qui donnent les meilleurs résultats à 98% de l'Optimum Proctor Modifié. L'indice portant CBR du premier emprunt est passé de 88 à 160 à 98% de l'Optimum Proctor Modifié ; Celui du second emprunt passe de 23 à 140 à 98% de l'Optimum Proctor Modifié.

L'étude réalisée a permis de définir la classe de concassé 0/20 comme la classe qui donne les meilleurs résultats d'amélioration de graveleux latéritique avec du concassé, avec un pourcentage optimum de 30.

On peut dire que l'amélioration du graveleux latéritique par la technique de lithostabilisation est influencée des caractéristiques physiques et mécaniques du graveleux latéritique à améliorer et du granite concassé utilisé pour l'amélioration.

VI. RECOMMANDATIONS / PERSPECTIVES

VI.1. RECOMMANDATIONS

La technique de la lithostabilisation est une technique qui permet l'amélioration de l'indice portant CBR du graveleux latéritique. Mais pour que cette amélioration soit effective, certaines conditions doivent être respectées.

➤ **Graveleux latéritique**

Le graveleux latéritique doit avoir une proportion de fines suffisante pour permettre une bonne consolidation du matériau lors du compactage.

➤ **Granite concassé**

Le granite concassé utilisé pour l'amélioration doit être un matériau relativement propre (c'est-à-dire qu'il doit contenir très peu d'éléments de diamètre inférieur à 0,5mm) et avoir une granulométrie uniforme pour combler les déficiences du graveleux latéritique. Sa distribution granulométrique doit être telle qu'après amélioration, on constate un renforcement des nodules de 2 à 10mm qui sont les plus sensibles aux effets du compactage. La classe granulaire de concassé recommandée est la classe 0/20 car elle permet d'obtenir les meilleurs indices portant CBR.

➤ **Le mélange**

Il faut toujours s'assurer que le graveleux latéritique à améliorer et le granite concassé devant servir à l'amélioration soient des échantillons représentatifs. Lors des essais de Proctor modifié et de CBR, il faut s'assurer de l'homogénéité du mélange mis en œuvre car la densité sèche à déterminer en dépend.

Le plus important, c'est de s'assurer d'une bonne mise œuvre du matériau en couche de chaussée. La mise en œuvre la plus adoptée de nos jours pour le lithostab est la suivante :

- Approvisionnement et épandage du graveleux latéritique à l'état naturel ; réglage sans compactage ;
- Humidification partielle du graveleux répandu par passage d'une citerne à eau munie d'une rampe de distribution ;

- Approvisionnement et épandage du concassé sur le graveleux précédemment répandu à l'état naturel ;
- Mélange des deux composantes à l'aide de la recycleuse qui permet de limiter les risques de ségrégation.

VI.2. PERSPECTIVES

Pour une meilleure connaissance de la technique de lithostabilisation, il pourrait être menées des études en vue d'une étude de coût de construction à partir de cette méthode en comparaison avec d'autres méthodes comme l'amélioration du graveleux latéritique au ciment. Il pourrait être aussi envisagées l'étude du comportement du graveleux latéritique amélioré avec un mélange de classes granulaires de concassé (mélange de 0/20 et de 0/31,5 par exemple).

VII. BIBLIOGRAPHIE

☛ Ouvrages et articles

- [1] BOHI Zondjé Poanguy Bernadin (2008), Thèse : « Caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routière : le cas de la région de l'Agnéby », Ecole Nationale Des Ponts et Chaussées.
- [2] Centre Expérimentale De Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics. « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux ».
- [3] Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du bâtiment et des Travaux Publics. « Utilisation des graveleux latéritiques en technique routière », Institut des sciences et des techniques de l'équipement et de l'environnement pour le développement.
- [4] Lyon Associates, INC, Baltimore Maryland, USA, (Août 1971). « Sols latéritiques et d'autres sols difficiles d'Afrique », Etude géotechnique pour l'Agence Pour le Développement International AID CSD-2164.
- [5] Pierre LOMPO, IRF IVème Conférence Routière Africaine (20-25 Janvier 1980)-Nairobi, Kenya. « Les matériaux utilisés en construction routière en Haute Volta, un Matériau non traditionnel « le lithostab » ».
- [6] YACOUB Azibert, (Année académique 2009-2010), Mémoire de fin d'études : « Influence des conditions de mise en œuvre des composites latérite/ciment sur la durabilité des couches de base ».

☛ Références normatives

- [7] NF P 18-553 (Octobre 1978), « Echantillonnage »
- [8] NF P 18-561 (Octobre 1978), « Granulats : mesure du coefficient d'aplatissement »
- [9] NF P 18-591 (Avril 1979), « Détermination de la propreté superficielle »
- [10] NF P 94-050 (Octobre 1991), « Sols : Reconnaissance et essais, Détermination de la teneur en eau pondérale des sols, Méthode par étuvage »
- [11] NF P 94-056 (Mars 1996), « Analyse granulométrique : Méthode par tamisage à sec après lavage »

[12] NF P 94 – 09 (Octobre 1999), « Détermination des références de compétences »

[13] NF P 94–09, « Indice CBR après immersion-Indice CBR immédiat-Indice portant immédiat »

☞ Sites internet

[14] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Granite>

[15] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Lat%C3%A9rite>

VIII. ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°01
- Annexe 2** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°02
- Annexe 3** : Caractérisations physiques du granite concassé de classe 0/20
- Annexe 4** : Caractérisations physiques du granite concassé de classe 5/20
- Annexe 5** : Caractérisations physiques du granite concassé de classe 0/31,5
- Annexe 6** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 0/20 à 20%
- Annexe 7** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 0/20 à 30%
- Annexe 8** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 5/20 à 20%
- Annexe 9** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 5/20 à 30%
- Annexe 10** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 0/31,5 à 20%
- Annexe 11** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 0/31,5 à 30%
- Annexe 12** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 0/20 à 20%
- Annexe 13** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 0/20 à 30%
- Annexe 14** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 5/20 à 20%
- Annexe 15** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 5/20 à 30%
- Annexe 16** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 0/31,5 à 20%
- Annexe 17** : Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 0/31,5 à 30%

Annexe 1

Caractérisations physiques de l'emprunt n°01

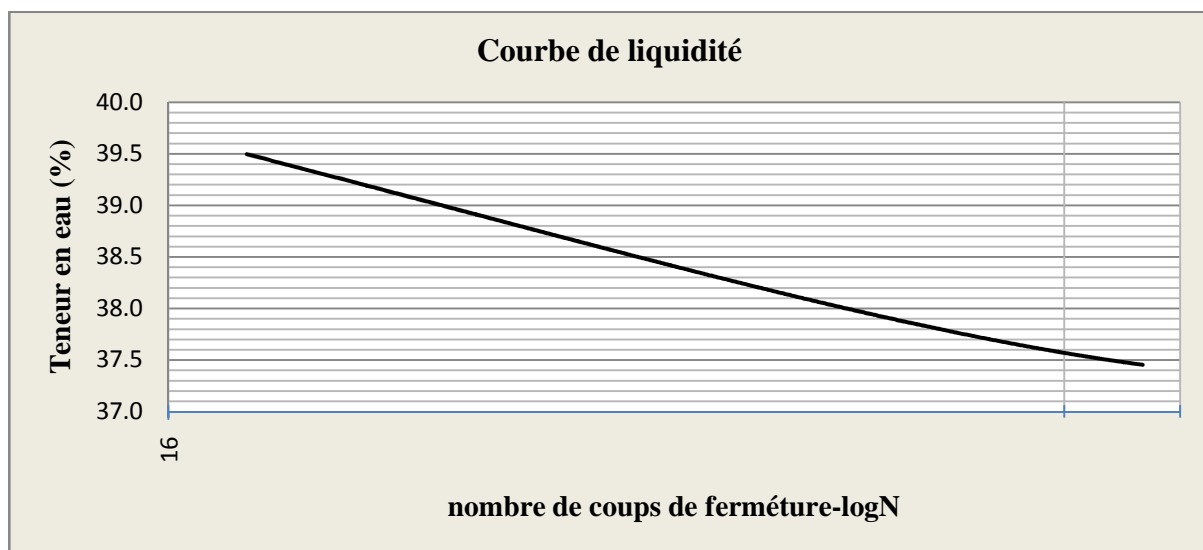
1. Analyse granulométrique

Méthode par tamisage à sec après lavage (NF P 18-560)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			6038	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	450	7	93
31,5	46	552	9	91
25	45	692	11	89
20	44	852	14	86
16	43	1160	19	81
12,5	42	1496	25	75
10	41	1878	31	69
8	40	2369	39	61
6,3	39	2910	48	52
5	38	3409	56	44
4	37	3732	62	38
3,15	36	4182	69	31
2,5	35	4368	72	28
2	34	4493	74	26
1,6	33	4602	76	24
1,25	32	4699	78	22
1	31	4784	79	21
0,8	30	4847	80	20
0,63	29	4909	81	19
0,5	28	4969	82	18
0,4	27	5041	83	17
0,315	26	5105	85	15
0,25	25	5160	85	15
0,2	24	5222	86	14
0,16	23	5280	87	13
0,125	22	5337	88	12
0,1	21	5371	89	11
0,08	20	5404	89	11

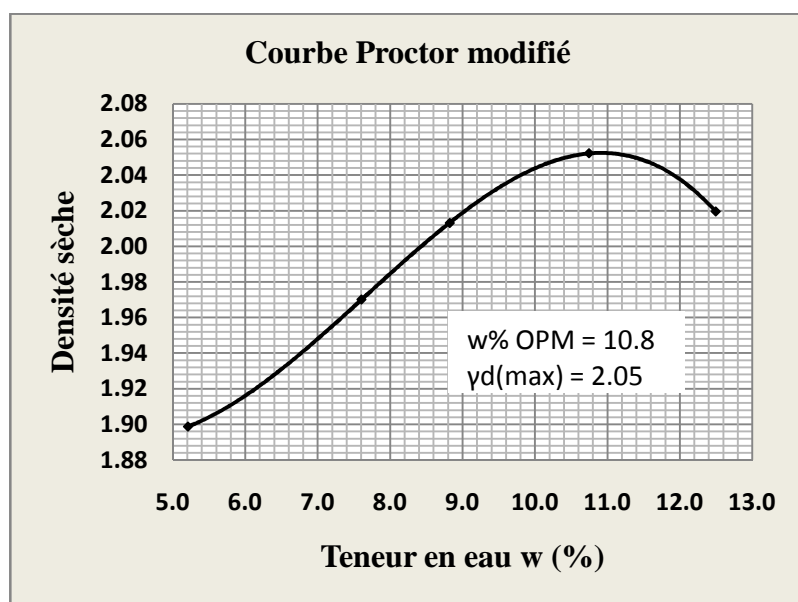
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Mesure n°	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande - W_L								Limite de plasticité au rouleau W_P	
	1		2		3		4		1	2
Nombre de coups	17		23		28		34			
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	90	180
Masse Totale humide (g)	31,83	34,03	33,34	32,6	33,41	33,22	33,45	33,2	30,07	32,08
Masse Totale sèche (g)	28,69	30,68	29,9	29,31	30,56	29,77	30,06	29,86	28,74	30,82
Masse de la tare (g)	20,73	22,23	20,92	20,74	23	20,75	20,99	20,93	22,28	24,63
Masse d'eau (g)	3,14	3,35	3,44	3,29	2,85	3,45	3,39	3,34	1,33	1,26
Masse du sol sec (g)	7,96	8,45	8,98	8,57	7,56	9,02	9,07	8,93	6,46	6,19
Teneur en eau (%)	39,4	39,6	38,3	38,4	37,7	38,2	37,4	37,4	20,6	20,4
Teneur en eau moyenne	39,5		38,3		38,0		37,4		20,5	

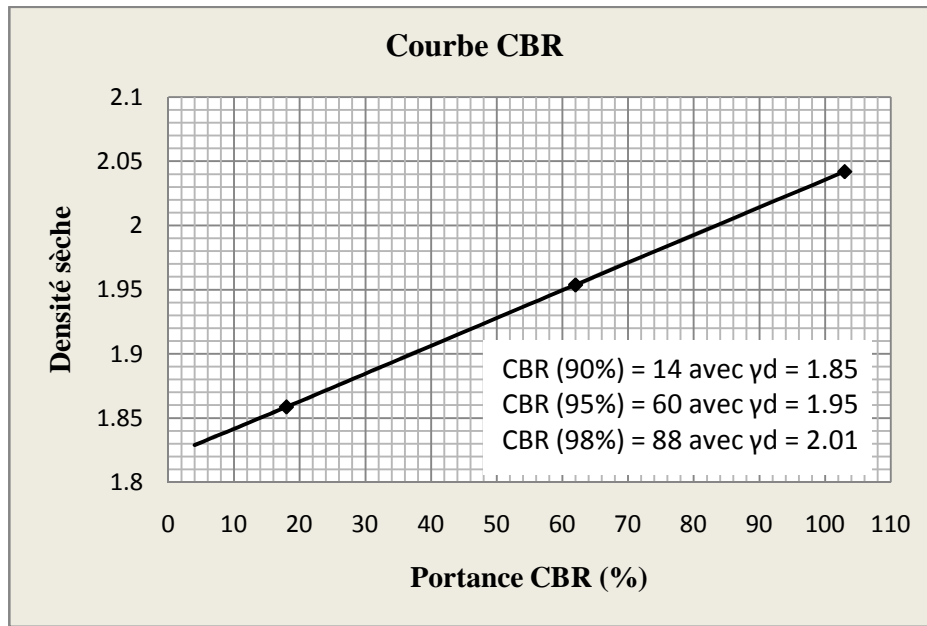


3. Essai Proctor modifié (NFP 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse totale humide (g)	455	477,7	574,9	624,5	452,2	450	444	457	423	438
Masse totale sèche (g)	436	456,5	537,7	585,6	419,8	419	406	418	383	396,9
Masse de la tare (g)	59,7	57,45	58,85	62,35	60,5	60,6	64,7	59,8	61,4	62,4
Masse d'eau (g)	19,3	21,15	37,2	38,9	32,35	31	37,2	38,1	40,9	41,05
Masse du sol sec (g)	376	399,1	478,9	523,3	359,3	358	342	359	321	334,5
Teneur en eau (%)	5,1	5,3	7,8	7,4	9,0	8,6	10,9	10,6	12,7	12,3
Teneur en eau moyenne (%)	5,2		7,6		8,8		10,7		12,5	
Teneur en eau initiale du matériau	1,0									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	8054		7471		7037		7508		7322	
% de l'eau de mouillage	4		6		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	322		448		563		751		879	
Masse totale humide (g)	7818		8075		8224		8397		8395	
Masse du moule (g)	3615		3615		3615		3615		3615	
Masse nette humide (g)	4203		4460		4609		4782		4780	
Volume du moule (cm ³)	2104		2104		2104		2104		2104	
Densité humide	2,00		2,12		2,19		2,27		2,27	
Densité sèche	1,90		1,97		2,01		2,05		2,02	



4. Essai CBR



Annexe 2

Caractérisations physiques de l'emprunt n°02

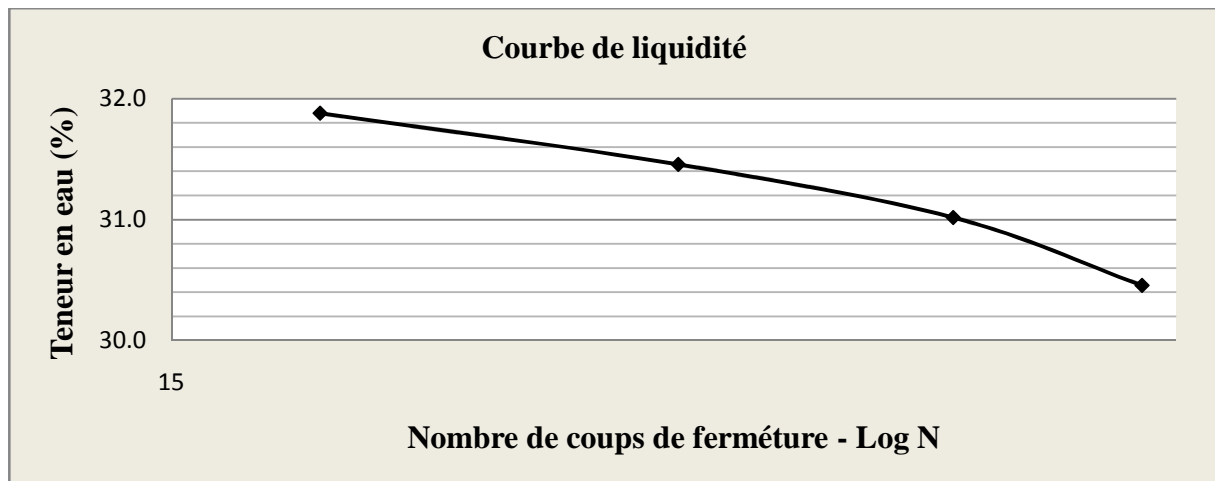
1. Analyse granulométrique

Méthode par tamisage à sec après lavage (NFP 94-056)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			5594	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisâts cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	48	2	98
25	45	125	2	98
20	44	135	3	97
16	43	166	6	94
12,5	42	310	11	89
10	41	613	18	82
8	40	1031	26	74
6,3	39	1470	34	66
5	38	1912	40	60
4	37	2219	46	54
3,15	36	2583	49	51
2,5	35	2753	51	49
2	34	2856	53	47
1,6	33	2951	55	45
1,25	32	3050	56	44
1	31	3155	58	42
0,8	30	3253	60	40
0,63	29	3352	62	38
0,5	28	3476	64	36
0,4	27	3607	66	34
0,315	26	3720	68	32
0,25	25	3808	70	30
0,2	24	3905	71	29
0,16	23	3978	72	28
0,125	22	4055	73	27
0,1	21	4082	74	26
0,08	20	4112	74	26

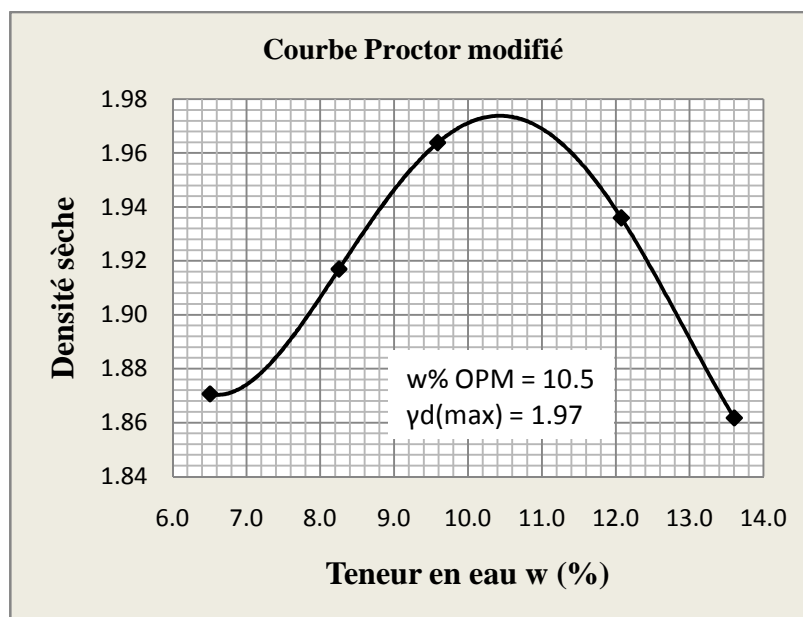
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Mesure n°	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande - WL								Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		1	2
Nombre de coups	17		23		29		34			
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	90	180
Masse Totale humide (g)	35,38	33,62	34,93	32,4	36,87	34,74	35,38	33,67	30,6	30,5
Masse Totale sèche (g)	32,39	30,77	31,71	29,73	33,63	31,46	32,23	30,61	29,29	29,26
Masse de la tare (g)	23	21,84	21,44	21,27	23,14	20,93	21,89	20,56	21,84	22,4
Masse d'eau (g)	2,99	2,85	3,22	2,67	3,24	3,28	3,15	3,06	1,31	1,24
Masse du sol sec (g)	9,39	8,93	10,27	8,46	10,49	10,53	10,34	10,05	7,45	6,86
Teneur en eau (%)	31,8	31,9	31,4	31,6	30,9	31,1	30,5	30,4	17,6	18,1
Teneur en eau moyenne	31,9		31,5		31,0		30,5		17,8	

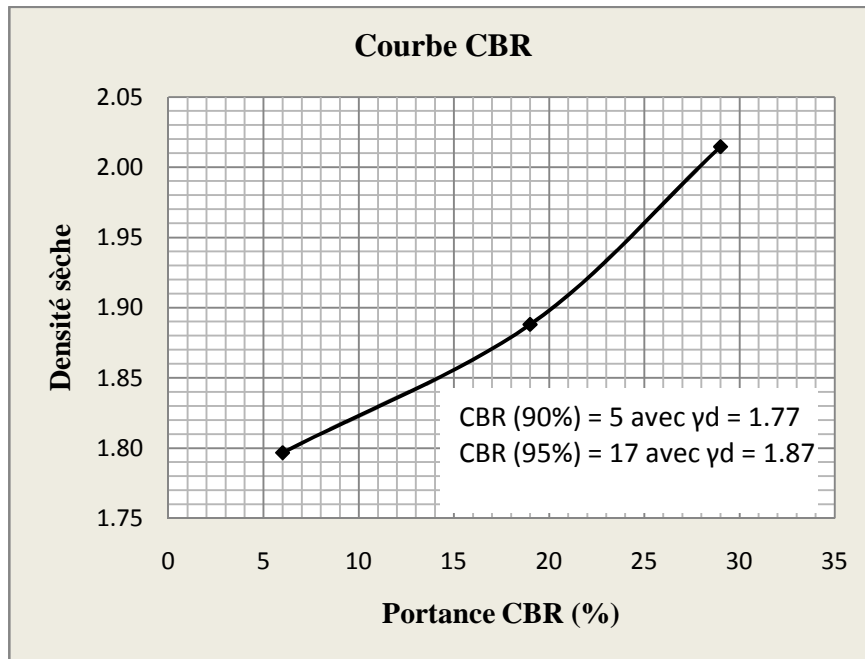


3. Essai Proctor modifié (NFP 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse totale humide (g)	449,6	464,45	509,7	504,85	481,9	482,2	471,1	466	436	414,2
Masse totale sèche (g)	424,8	440,95	474	472,6	445,4	445,8	427,4	421,6	392,8	370,8
Masse de la tare (g)	60,55	62,2	61,9	61,3	65,55	65,25	59,75	59,1	64,65	61,4
Masse d'eau (g)	24,8	23,5	35,7	32,25	36,5	36,4	43,7	44,45	43,25	43,4
Masse du sol sec (g)	364,2	378,75	412,1	411,3	379,85	380,5	367,6	362,5	328,1	309,4
Teneur en eau (%)	6,8	6,2	8,7	7,8	9,6	9,6	11,9	12,3	13,2	14,0
Teneur en eau moyenne (%)	6,5		8,3		9,6		12,1		13,6	
Teneur en eau initiale du matériau	2,0									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	6789		6436		6899		6816		6913	
% de l'eau de mouillage	4		6		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	272		386		552		682		830	
Masse totale humide (g)	7807		7981		8143		8180		8065	
Masse du moule (g)	3615		3615		3615		3615		3615	
Masse nette humide (g)	4192		4366		4528		4565		4450	
Volume du moule (cm ³)	2104		2104		2104		2104		2104	
Densité humide	1,99		2,08		2,15		2,17		2,12	
Densité sèche	1,87		1,92		1,96		1,94		1,86	



4. Essai CBR



Annexe 3

Caractérisations physiques du granite concassé de classe 0/20

1. Analyse granulométrique (Méthode par tamisage (NFP 18-560))

Masse totale humide M1h (g)		566		
Masse totale sèche M1s (g)		565		
Masse humide de l'échantillon soumis à essai: Mh (g)		4670		
Masse sèche de l'échantillon soumis à essai: Ms (g) =Mh(M1s/M1h)		4662		
Masse sèche de l'échantillon après lavage Ms1 (g)		4597		
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
25	45	44	0,94	99,06
20	44	666	14,29	85,71
16	43	1891	40,56	59,44
12,5	42	2535	54,38	45,62
10	41	3010	64,57	35,43
8	40	3347	71,80	28,20
6,3	39	3621	77,67	22,33
5	38	3839	82,35	17,65
4	37	3969	85,14	14,86
3,15	36	4155	89,13	10,87
2,5	35	4222	90,57	9,43
2	34	4272	91,64	8,36
1,6	33	4318	92,63	7,37
1,25	32	4357	93,46	6,54
1	31	4387	94,11	5,89
0,8	30	4414	94,69	5,31
0,63	29	4435	95,14	4,86
0,5	28	4457	95,61	4,39
0,4	27	4484	96,19	3,81
0,315	26	4503	96,59	3,41
0,25	25	4518	96,92	3,08
0,2	24	4533	97,24	2,76
0,16	23	4554	97,69	2,31
0,125	22	4572	98,07	1,93
0,1	21	4582	98,29	1,71
0,080(Rn)	20	4595	98,57	1,43
Tn		1		
Rn+Tn		4596		
100[(M _{s1} - (R _n + T _n))/M _{s1}] < 2%		0,02		

2. Mesure du coefficient d'aplatissement (NF P 18-561)

Masse de l'échantillon soumis à l'essai M_0 (g)				5637
Masse du refus au tamis de 4mm (g)				4879
Tamisage sur tamis à mailles carrées		Tamisage sur grilles à fentes		Coefficient d'aplatissement $100(M_e/M_g)$
Classes granulaires (mm)	Masse de la classe granulaire M_g (g)	Ecartement des grilles E (mm)	Masse du passant M_e (g)	
20/25	869	12,5	134	15,42
16/20	1422	10	271	19,06
12,5/16	791	8	221	27,94
10/12,5	546	6,3	170	31,14
8//10	439	5	159	36,22
6,3/8	353	4	130	36,83
5/6,3	270	3,15	93	34,44
4//5	158	2,5	49	31,01
$M=\Sigma M_g$	4848	ΣM_e	1227	---
Coefficient d'aplatissement global $A=100(\Sigma M_e/M)$				25,31

3. Détermination de la propreté superficielle (NF P 18-591)

Masse M de l'échantillon soumis à essai (g)	5768
Exécution de l'essai	
- Détermination de la masse sèche M_s de l'échantillon pour laboratoire	
Masse M_{1h} (g) du premier échantillon	602
Masse M_h (g) du deuxième échantillon	5165
Séchage du premier échantillon à l'étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante au gramme près	
Masse sèche M_{1s} (g) du premier échantillon	601
Calcul de la masse sèche M_s (g) de l'échantillon soumis à l'essai de propreté $M_s(g) = M_h(M_{1s}/M_{1h})$	5156
- Détermination de la masse sèche m des éléments inférieurs à 0,5mm (ou à 1,6 mm pour les ballasts)	
Lavage de l'échantillon au tamis de 0,5mm (ou de 1,6mm pour les ballasts) jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule soit claire	
Séchage du refus à l'étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante au gramme près	
Masse sèche m' (g) du refus séché et tamisé	4942
Calcul de la masse m (g) des éléments inférieurs à 0,5mm (ou à 1,6mm pour les ballasts): $m(g) = M_s - m'$	214
- Calcul de la propreté superficielle P	
La propreté superficielle est donnée par la relation: $P=100(m/M_s)$	4,15

Annexe 4

Caractérisations physiques du granite concassé de classe 5/20

1. Analyse granulométrique (Méthode par tamisage (NFP 18-560))

Masse totale humide M1h (g)		610		
Masse totale sèche M1s (g)		610		
Masse humide de l'échantillon soumis à essai: Mh (g)		5891		
Masse sèche de l'échantillon soumis à essai: Ms (g) =Mh(M1s/M1h)		5891		
Masse sèche de l'échantillon après lavage Ms1 (g)		5879		
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
25	45	18	0,3	99,7
20*	44	927	15,7	84,3
16	43	2857	48,5	51,5
12,5	42	3702	62,8	37,2
10*	41	4369	74,2	25,8
8	40	4978	84,5	15,5
6,3*	39	5429	92,2	7,8
5	38	5811	98,6	1,4
4*	37	5865	99,6	0,4
3,15	36	5867	99,6	0,4
2,5	35	5868	99,6	0,4
2*	34	5869	99,6	0,4
1,6	33	5869	99,6	0,4
1,25	32	5870	99,6	0,4
1	31	5871	99,7	0,3
0,8	30	5872	99,7	0,3
0,63	29	5873	99,7	0,3
0,5	28	5873	99,7	0,3
0,4	27	5873	99,7	0,3
0,315	26	5873	99,7	0,3
0,25	25	5875	99,7	0,3
0,2	24	5875	99,7	0,3
0,16	23	5876	99,7	0,3
0,125	22	5877	99,8	0,2
0,1	21	5878	99,8	0,2
0,080* (Rn)	20	5879	99,8	0,2
Tn		0		
Rn+Tn		5879		
100[(M _{s1} - (R _n + T _n))/M _{s1}] < 2%		0,00		

Annexe 5

Caractérisations physiques du granite concassé de classe 0/31,5

1. Analyse granulométrique (Méthode par tamisage (NFP 18-560))

Masse totale humide M1h (g)			738	
Masse totale sèche M1s (g)			738	
Masse humide de l'échantillon soumis à essai: Mh (g)			5520	
Masse sèche de l'échantillon soumis à essai: Ms (g) =Mh(M1s/M1h) 200D			5520	
Masse sèche de l'échantillon après lavage Ms1 (g)			5491	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
31,5*	46	1245	23	77
25	45	2747	50	50
20*	44	3399	62	38
16	43	3993	72	28
12,5	42	4287	78	22
10*	41	4540	82	18
8	40	4684	85	15
6,3*	39	4785	87	13
5	38	4883	88	12
4*	37	4944	90	10
3,15	36	5056	92	8
2,5	35	5123	93	7
2*	34	5175	94	6
1,6	33	5223	95	5
1,25	32	5269	95	5
1	31	5306	96	4
0,8	30	5336	97	3
0,63	29	5362	97	3
0,5	28	5390	98	2
0,4	27	5414	98	2
0,315	26	5432	98	2
0,25	25	5447	99	1
0,2	24	5462	99	1
0,16	23	5471	99	1
0,125	22	5481	99	1
0,1	21	5486	99	1
0,080* (Rn)	20	5490	99	1
Tn		1		
Rn+Tn		5491		
100[(M _{s1} - (R _n + T _n))/M _{s1}] < 2%		0,00		

2. Mesure du coefficient d'aplatissement (NF P 18-561)

Masse de l'échantillon soumis à l'essai M ₀ (g)				6525
Masse du refus au tamis de 4mm (g)				5295
Tamisage sur tamis à mailles carrées		Tamisage sur grilles à fentes		Coefficient d'aplatissement 100(Me/Mg)
Classes granulaires (mm)	Masse de la classe granulaire Mg(g)	Ecartement des grilles E (mm)	Masse du passant Me (g)	
31,5/40	968	20	48	4,96
25/31,5	4534	16	171	3,77
20/25	789	12,5	198	25,10
16/20	577	10	138	23,92
12,5/16	374	8	129	34,49
10/12,5	260	6,3	91	35,00
8//10	247	5	62	25,10
6,3/8	211	4	62	29,38
5/6,3	193	3,15	42	21,76
4//5	125	2,5	28	22,40
M=ΣMg	2776	ΣMe	750	---
Coefficient d'aplatissement global A=100(ΣMe/M)				27,02

3. Détermination de la propreté superficielle (NF P 18-591)

Masse M de l'échantillon soumis à essai (g)	6805
Exécution de l'essai	
- Détermination de la masse sèche Ms de l'échantillon pour laboratoire	
Masse M _{1h} (g) du premier échantillon	715
Masse M _h (g) du deuxième échantillon	6090
Séchage du premier échantillon à l'étuve à 105 ± 5°C jusqu'à masse constante au gramme près	
Masse sèche M _{1s} (g) du premier échantillon	714
Calcul de la masse sèche Ms (g) de l'échantillon soumis à l'essai de propreté Ms(g)= Mh(M _{1s} /M _{1h})	6081
- Détermination de la masse sèche m des éléments inférieurs à 0,5mm (ou à 1,6 mm pour les ballasts)	
Lavage de l'échantillon au tamis de 0,5mm (ou de 1,6mm pour les ballasts) jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule soit claire	
Séchage du refus à l'étuve à 105 ± 5°C jusqu'à masse constante au gramme près	
Masse sèche m' (g) du refus séché et tamisé	5908
Calcul de la masse m (g) des éléments inférieurs à 0,5mm (ou à 1,6mm pour les ballasts): m(g)= Ms-m'	173
- Calcul de la propreté superficielle P	
La propreté superficielle est donnée par la relation: P=100(m/Ms)	2,85

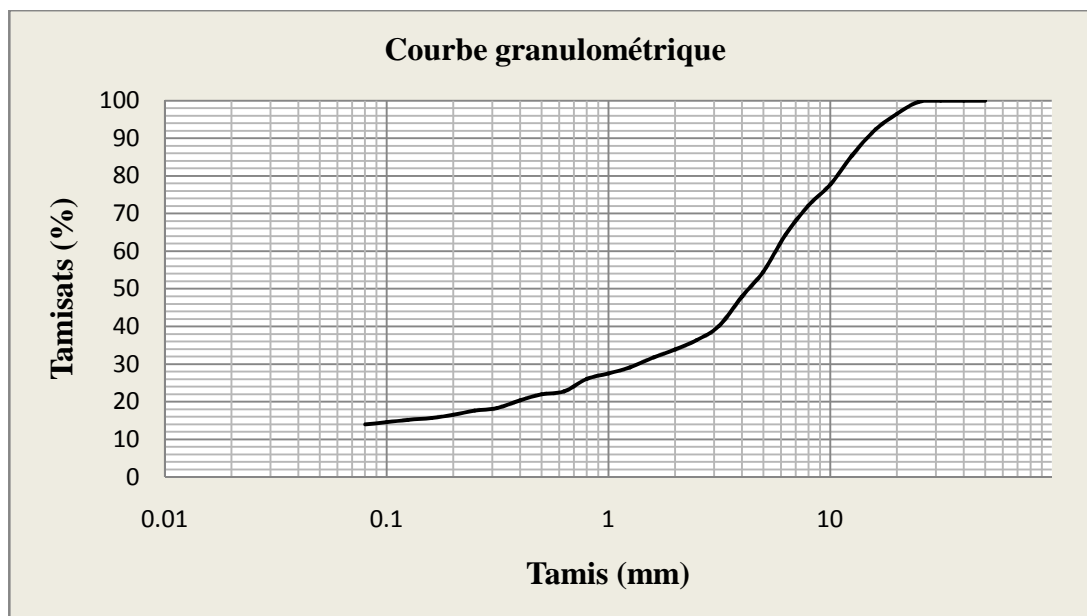
Annexe 6

Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 0/20 à 20%

1. Analyse granulométrique

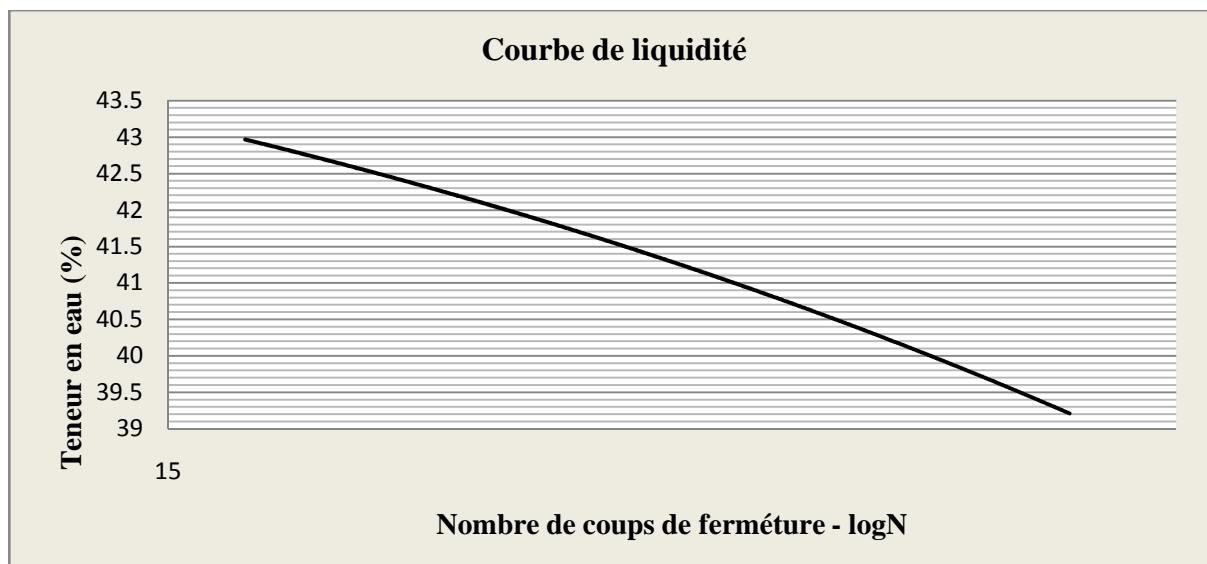
Méthode par tamisage à sec après lavage (NFP 94-056)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			5460	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	0	0	100
25	45	19	0,3	100
20	44	194	4	96
16	43	420	8	92
12,5	42	802	15	85
10	41	1221	22	78
8	40	1521	28	72
6,3	39	1947	36	64
5	38	2480	45	55
4	37	2842	52	48
3,15	36	3272	60	40
2,5	35	3477	64	36
2	34	3612	66	34
1,6	33	3727	68	32
1,25	32	3868	71	29
1	31	3958	72	28
0,8	30	4039	74	26
0,63	29	4216	77	23
0,5	28	4258	78	22
0,4	27	4350	80	20
0,315	26	4460	82	18
0,25	25	4498	82	18
0,2	24	4558	83	17
0,16	23	4602	84	16
0,125	22	4630	85	15
0,1	21	4666	85	15
0,08	20	4695	86	14



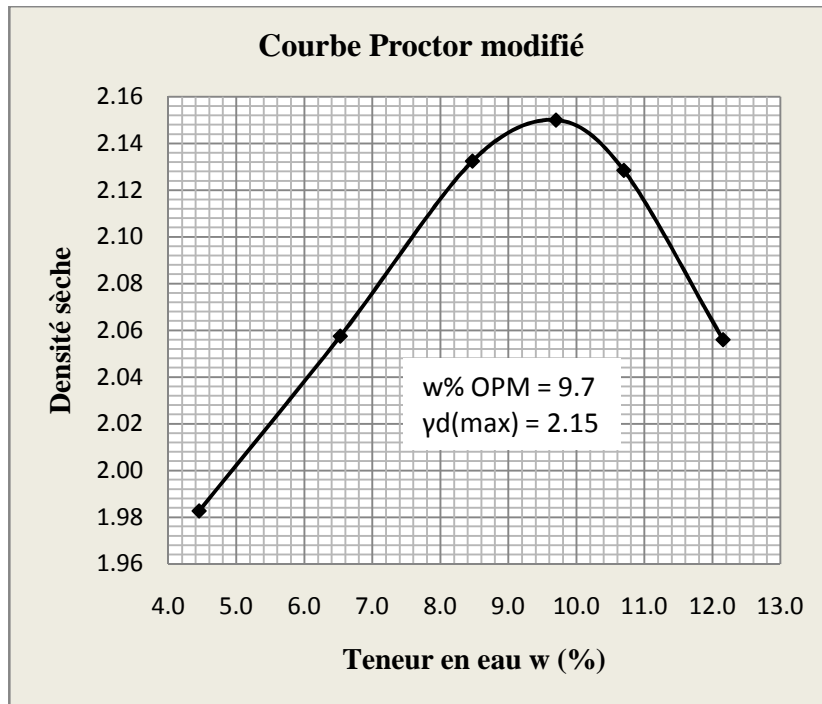
2. Détermination des limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Mesure n°	Limite de liquidité à la coupelle de casagrande - WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Nombre de coups	16		20		24		28		32		1	2
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Masse Totale humide (g)	38,26	36,2	37,63	40	35,92	40,5	37,82	36,93	36,39	36,07	27,6	28,45
Masse Totale sèche (g)	35,59	34,27	35,2	37,38	33,28	37,66	35,33	34,33	34,4	33,68	26,61	27,41
Masse de la tare (g)	29,43	29,72	29,45	31,15	26,8	30,7	29,15	27,84	29,31	27,59	22,31	22,93
Masse d'eau (g)	2,67	1,93	2,43	2,62	2,64	2,84	2,49	2,6	1,99	2,39	0,99	1,04
Masse du sol sec (g)	6,16	4,55	5,75	6,23	6,48	6,96	6,18	6,49	5,09	6,09	4,3	4,48
Teneur en eau (%)	43,3	42,4	42,3	42,1	40,7	40,8	40,3	40,1	39,1	39,2	23,0	23,2
Teneur en eau moyenne	42,9		42,2		40,8		40,2		39,2		23,1	

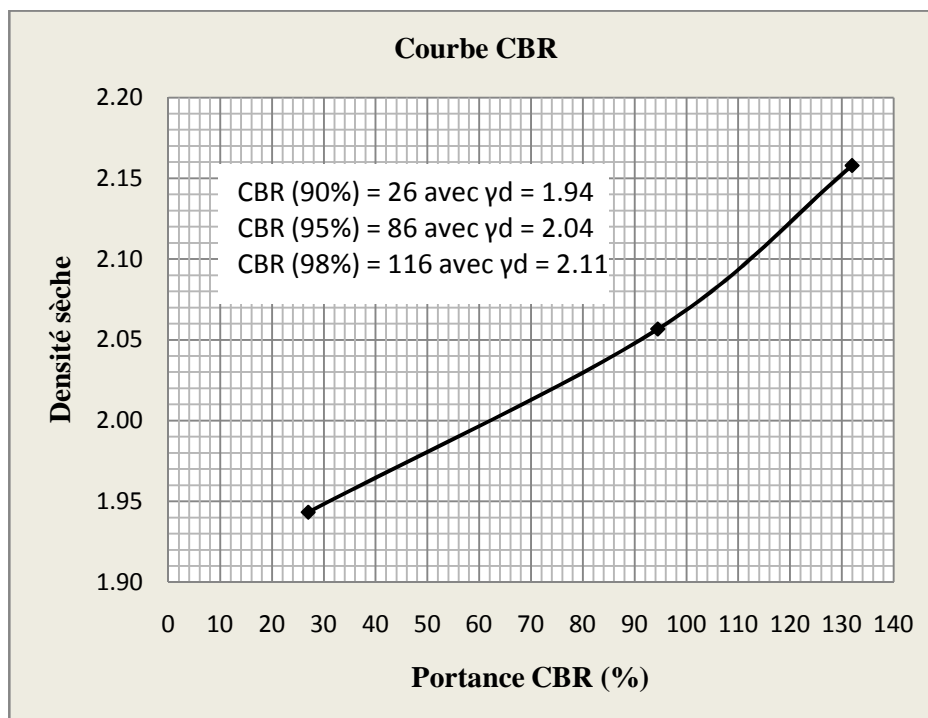


3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse totale humide (g)	665	625	465	535	540	520	635	615	645	690
Masse totale sèche (g)	640	600	440	505	500	485	585	560	580	625
Masse de la tare (g)	64	51,5	53	50	49	51,5	85,5	77	52	83,5
Masse d'eau (g)	25	25	25	30	40	35	50	55	65	65
Masse du sol sec (g)	576	548,5	387	455	451	433,5	499,5	483	528	541,5
Teneur en eau (%)	4,3	4,6	6,5	6,6	8,9	8,1	10,0	11,4	12,3	12,0
Teneur en eau moyenne (%)	4,4		6,5		8,5		10,7		12,2	
Teneur en eau initiale du matériau	0,5									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	6600		6020		6190		6390		6770	
% de l'eau de mouillage	4		6		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	264		361		495		639		812	
Masse totale humide (g)	7400		7652		7905		7995		7890	
Masse du moule (g)	3080		3080		3080		3080		3080	
Masse nette humide (g)	4320		4572		4825		4915		4810	
Volume du moule (cm ³)	2086		2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2,07		2,19		2,31		2,36		2,31	
Densité sèche	1,98		2,06		2,13		2,13		2,06	



4. Essai CBR



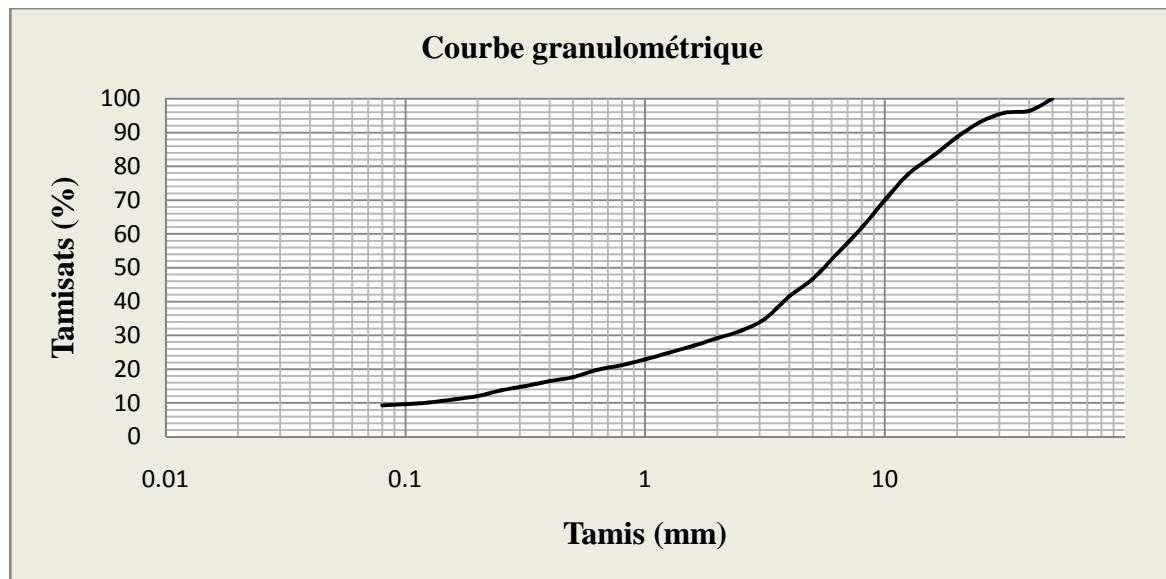
Annexe 7

Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 0/20 à 30%

1. Analyse granulométrique

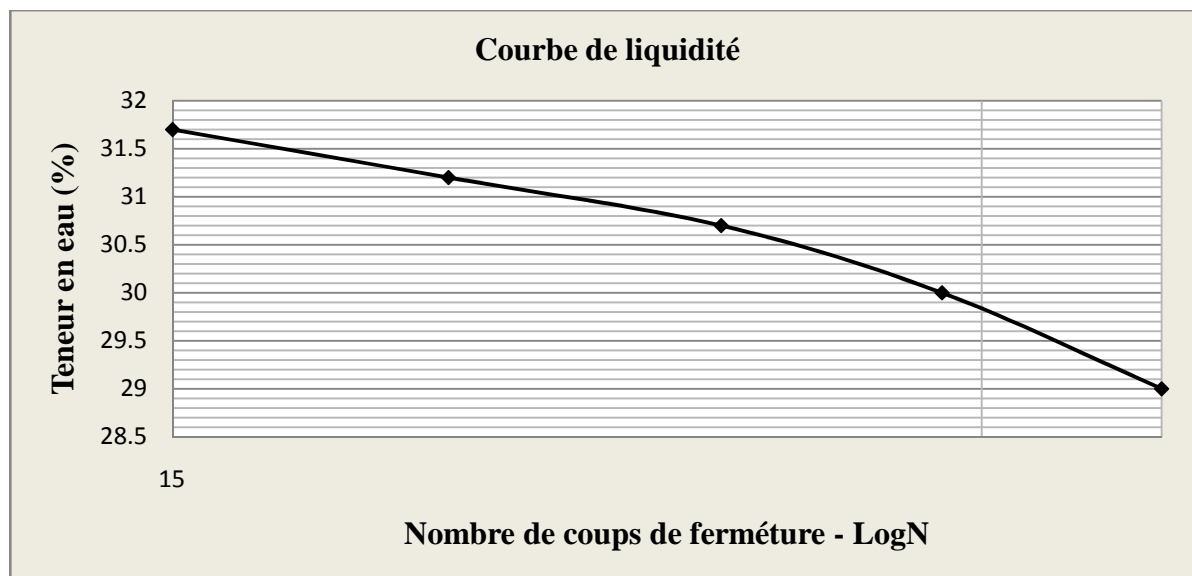
Méthode par tamisage à sec après lavage (NFP 94-056)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			6754	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	245	4	96
31,5	46	284	4	96
25	45	469	6,9	93
20	44	773	11	89
16	43	1133	17	83
12,5	42	1512	22	78
10	41	2031	30	70
8	40	2580	38	62
6,3	39	3103	46	54
5	38	3604	53	47
4	37	3949	58	42
3,15	36	4402	65	35
2,5	35	4636	69	31
2	34	4785	71	29
1,6	33	4931	73	27
1,25	32	5075	75	25
1	31	5207	77	23
0,8	30	5318	79	21
0,63	29	5419	80	20
0,5	28	5560	82	18
0,4	27	5638	83	17
0,315	26	5744	85	15
0,25	25	5827	86	14
0,2	24	5938	88	12
0,16	23	6001	89	11
0,125	22	6069	90	10
0,1	21	6100	90	10
0,08	20	6124	91	9



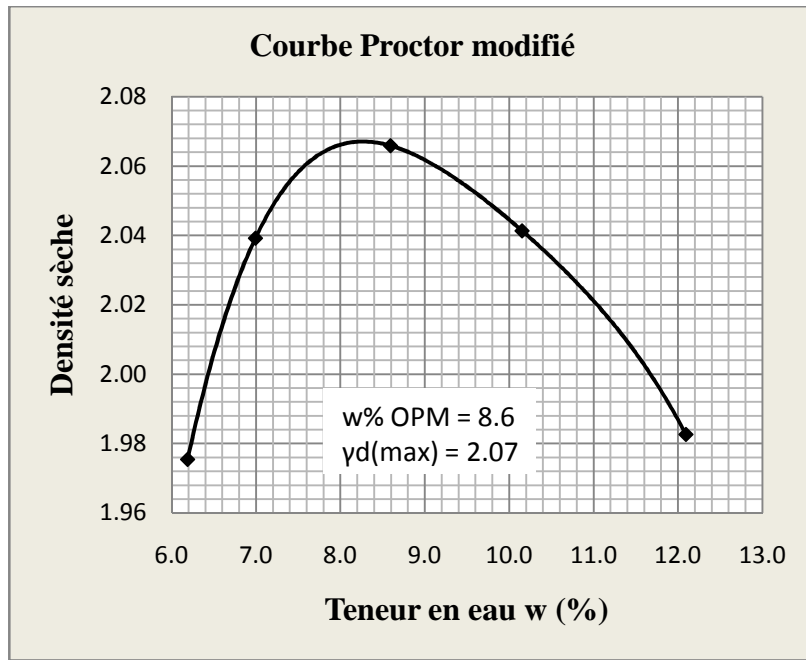
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Mesure n°	Limite de liquidité à la coupelle de casagrande - WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Nombre de coups	15		19		24		29		35		1	2
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Masse Totale humide (g)	32,83	33,8	35,7	32,05	34,58	36,18	34,55	32,38	33,03	32,68	30,42	30,85
Masse Totale sèche (g)	29,97	30,8	32,41	29,32	31,72	33,4	31,74	29,87	30,45	30,03	29,06	29,53
Masse de la tare (g)	20,93	21,36	21,89	20,56	22,42	24,32	22,4	21,5	21,58	20,85	22,14	22,65
Masse d'eau (g)	2,86	3	3,29	2,73	2,86	2,78	2,81	2,51	2,58	2,65	1,36	1,32
Masse du sol sec (g)	9,04	9,44	10,52	8,76	9,3	9,08	9,34	8,37	8,87	9,18	6,92	6,88
Teneur en eau (%)	31,6	31,8	31,3	31,2	30,8	30,6	30,1	30,0	29,1	28,9	19,7	19,2
Teneur en eau moyenne	31,7		31,2		30,7		30,0		29,0		19,4	

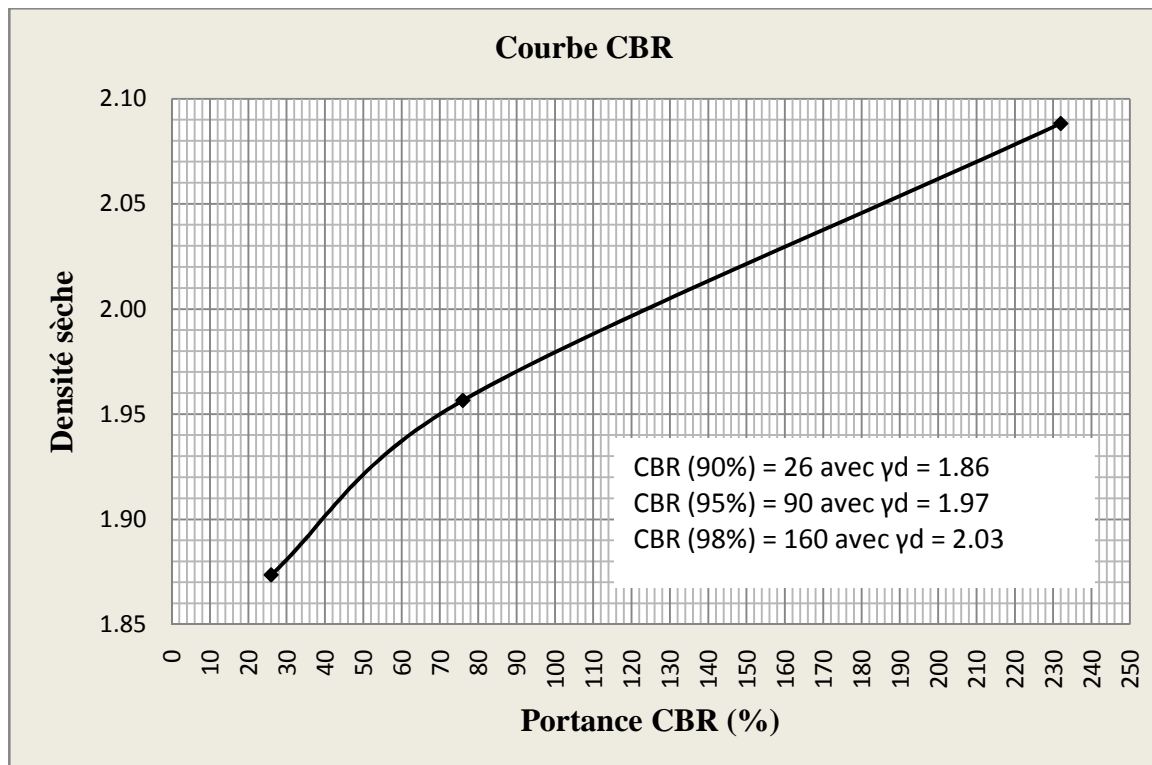


3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	9	10	3	4	5	6	7	8
Masse totale humide(g)	452,5	484	465,15	497,65	520,1	492,35	476,2	468,65	506,8	512,05
Masse totale sèche(g)	428,4	459,85	439	469,2	484,05	457,75	438,9	430,5	456,25	465,7
Masse de la tare (g)	48,35	59,75	64,65	62,8	55,8	63,2	65,7	60,5	59,1	61,3
Masse d'eau (g)	24,1	24,15	26,15	28,45	36,05	34,6	37,3	38,15	50,55	46,35
Masse du sol sec (g)	380,1	400,1	374,35	406,4	428,25	394,55	373,2	370	397,15	404,4
Teneur en eau (%)	6,3	6,0	7,0	7,0	8,4	8,8	10,0	10,3	12,7	11,5
Teneur en eau moyenne (%)	6,2		7,0		8,6		10,2		12,1	
Teneur en eau initiale du matériau	0,2									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	8991		8325		9562		8936		9381	
% de l'eau de mouillage	6		7		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	539		583		765		894		1126	
Masse totale humide(g)	8062		8171		8335		8346		8291	
Masse du moule (g)	3615		3615		3615		3615		3615	
Masse nette humide (g)	4447		4556		4720		4731		4676	
Volume du moule (cm ³)	2104		2104		2104		2104		2104	
Densité humide	2,11		2,17		2,24		2,25		2,22	
Densité sèche	1,98		2,04		2,07		2,04		1,98	



4. Essai CBR

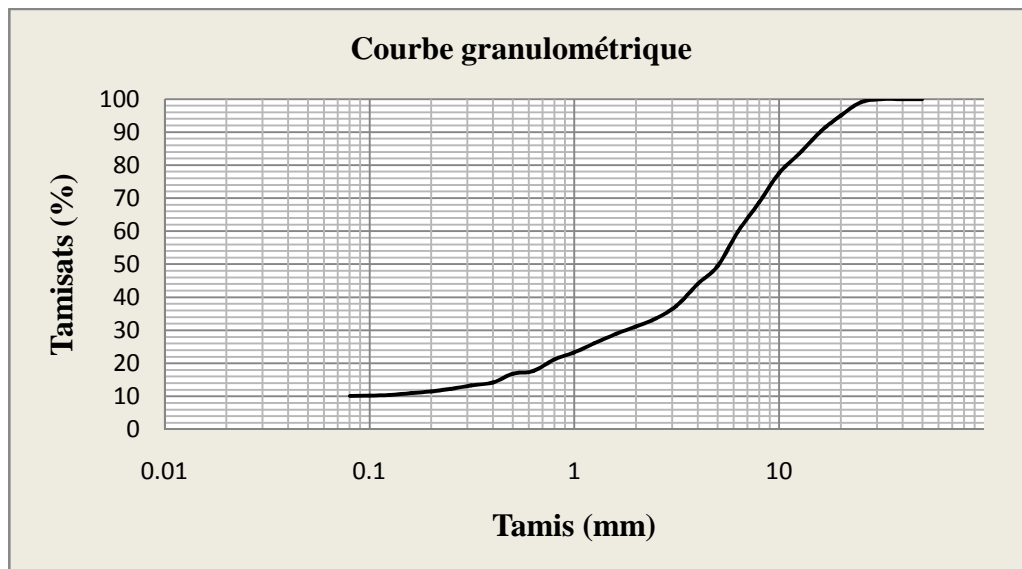


Annexe 8

Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 5/20 à 20%

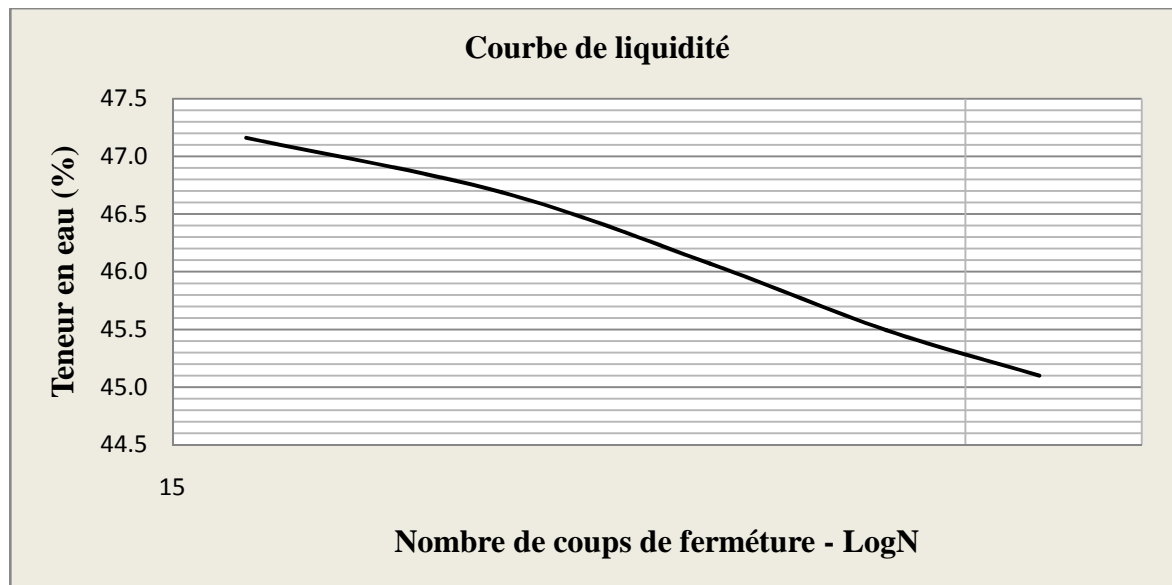
1. Analyse granulométrique Méthode par tamisage (NFP 18-560)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			6474	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	0	0	100
25	45	63	1,0	99
20	44	323	5	95
16	43	633	10	90
12,5	42	1075	17	83
10	41	1450	22	78
8	40	2022	31	69
6,3	39	2596	40	60
5	38	3275	51	49
4	37	3622	56	44
3,15	36	4055	63	37
2,5	35	4303	66	34
2	34	4460	69	31
1,6	33	4605	71	29
1,25	32	4788	74	26
1	31	4968	77	23
0,8	30	5106	79	21
0,63	29	5332	82	18
0,5	28	5385	83	17
0,4	27	5555	86	14
0,315	26	5612	87	13
0,25	25	5682	88	12
0,2	24	5732	89	11
0,16	23	5765	89	11
0,125	22	5798	90	10
0,1	21	5810	90	10
0,08	20	5822	90	10



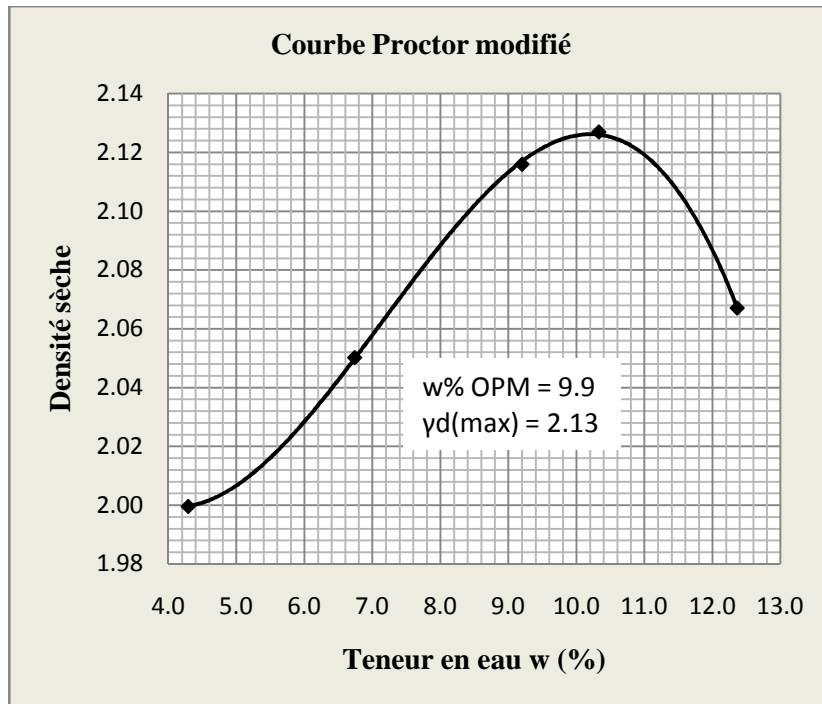
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

	Limite de liquidité à la coupelle de casagrande - WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Mesure n°												
Nombre de coups - N	16		20		24		28		32			
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Masse Totale humide (g)	36,83	35,63	37,41	37,03	38,01	36,82	40,35	36,71	38,3	37,59	30,63	27,46
Masse Totale sèche (g)	34,09	32,97	34,46	34,41	35,4	34,4	37,33	34,38	35,66	35,39	29,65	26,45
Masse de la tare (g)	28,3	27,31	28,14	28,8	29,71	29,17	30,69	29,26	29,64	30,37	25,61	22,21
Masse d'eau (g)	2,74	2,66	2,95	2,62	2,61	2,42	3,02	2,33	2,64	2,2	0,98	1,01
Masse du sol sec (g)	5,79	5,66	6,32	5,61	5,69	5,23	6,64	5,12	6,02	5,02	4,04	4,24
Teneur en eau (%)	47,3	47,0	46,7	46,7	45,9	46,3	45,5	45,5	43,9	43,8	24,3	23,8
Teneur en eau moyenne	47,2		46,7		46,1		45,5		43,8		24,0	

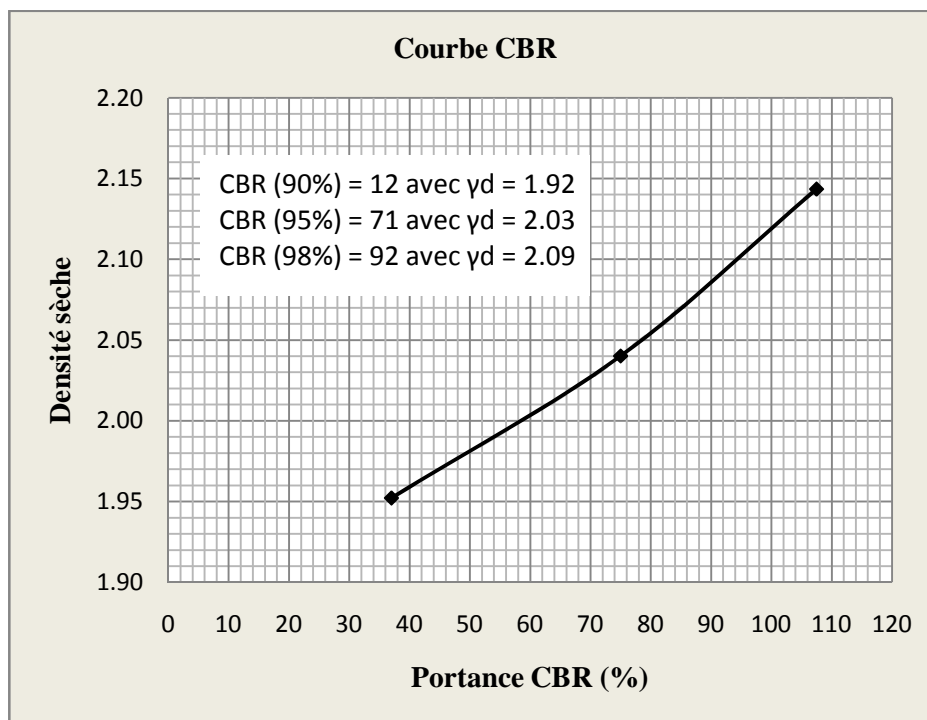


3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse totale humide (g)	520	605	635	720	695	685	630	665	470	525
Masse totale sèche (g)	505	580	600	675	640	635	580	605	425	475
Masse de la tare (g)	80	85	42,5	50	52	82,5	69,5	52,5	70	60
Masse d'eau (g)	15	25	35	45	55	50	50	60	45	50
Masse du sol sec (g)	425	495	557,5	625	588	552,5	510,5	552,5	355	415
Teneur en eau (%)	3,5	5,1	6,3	7,2	9,4	9,0	9,8	10,9	12,7	12,0
Teneur en eau moyenne (%)	4,3		6,7		9,2		10,3		12,4	
Teneur en eau initiale du matériau	0,6									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	7045		7075		7065		6465		6910	
% de l'eau de mouillage	4		6		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	282		425		565		647		829	
Masse totale humide (g)	7430		7645		7900		7975		7925	
Masse du moule (g)	3080		3080		3080		3080		3080	
Masse nette humide (g)	4350		4565		4820		4895		4845	
Volume du moule (cm ³)	2086		2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2,09		2,19		2,31		2,35		2,32	
Densité sèche	2,00		2,05		2,12		2,13		2,07	



4. Essai CBR

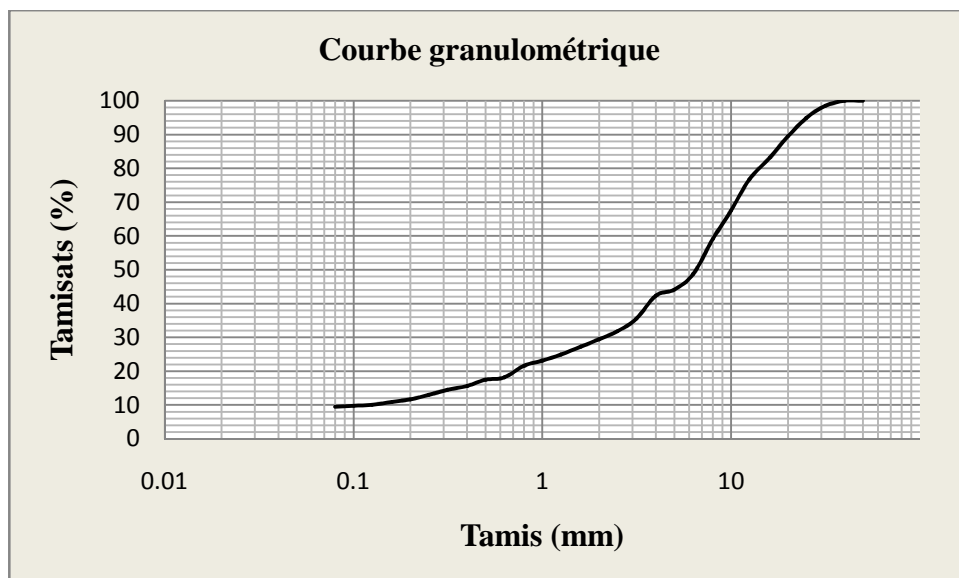


Annexe 9

Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 5/20 à 30%

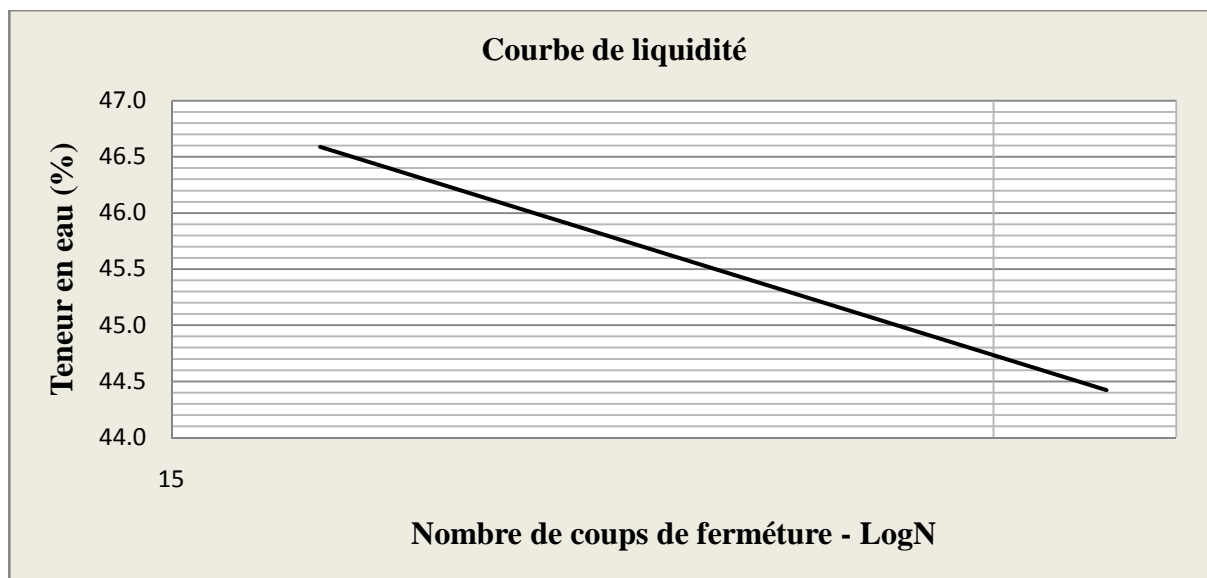
1. Analyse granulométrique Méthode par tamisage (NFP 18-560)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			5533	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	88	2	98
25	45	283	5,1	95
20	44	586	11	89
16	43	935	17	83
12,5	42	1288	23	77
10	41	1799	33	67
8	40	2266	41	59
6,3	39	2836	51	49
5	38	3089	56	44
4	37	3190	58	42
3,15	36	3570	65	35
2,5	35	3772	68	32
2	34	3903	71	29
1,6	33	4022	73	27
1,25	32	4154	75	25
1	31	4256	77	23
0,8	30	4337	78	22
0,63	29	4528	82	18
0,5	28	4565	83	17
0,4	27	4670	84	16
0,315	26	4732	86	14
0,25	25	4816	87	13
0,2	24	4885	88	12
0,16	23	4930	89	11
0,125	22	4975	90	10
0,1	21	4990	90	10
0,08	20	5010	91	9



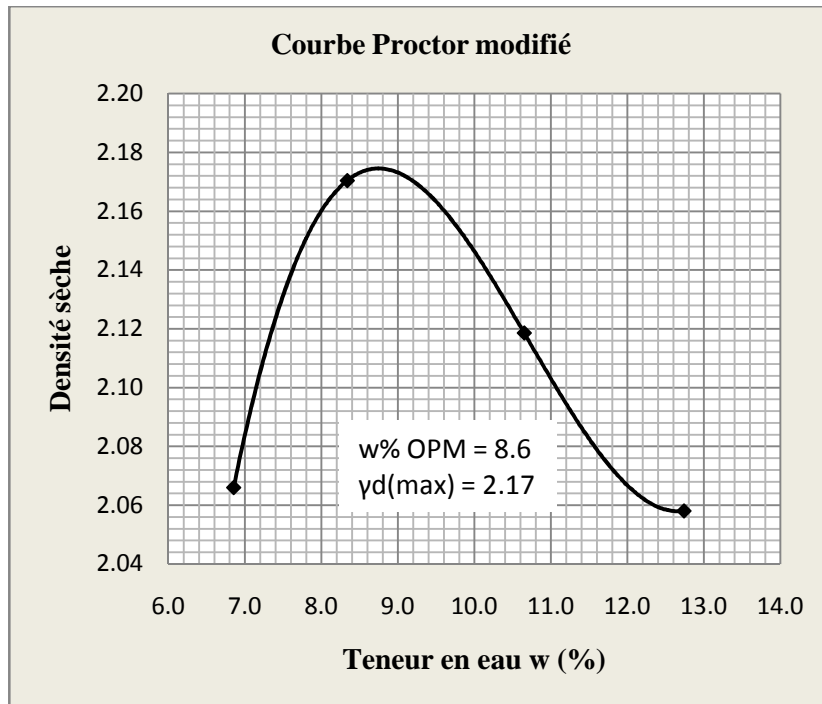
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Mesure n°	Limite de liquidité à la coupelle de casagrande - WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Nombre de coups	17		21		25		29		33		1	2
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Masse Totale humide (g)	39,83	36,54	39,81	37,46	40,13	36,29	40,93	37,03	37,86	37,38	27,5	28,7
Masse Totale sèche (g)	36,38	33,79	36,92	34,76	37,15	33,9	37,68	34,27	35,1	34,85	26,26	27,41
Masse de la tare (g)	28,98	27,84	30,66	28,91	30,62	28,67	30,41	28,17	28,88	29,13	21,26	22,19
Masse d'eau (g)	3,45	2,75	2,89	2,7	2,98	2,39	3,25	2,76	2,76	2,53	1,24	1,29
Masse du sol sec (g)	7,4	5,95	6,26	5,85	6,53	5,23	7,27	6,1	6,22	5,72	5	5,22
Teneur en eau (%)	46,6	46,2	46,2	46,2	45,6	45,7	44,7	45,2	44,4	44,2	24,8	24,7
Teneur en eau moyenne	46,4		46,2		45,7		45,0		44,3		24,8	

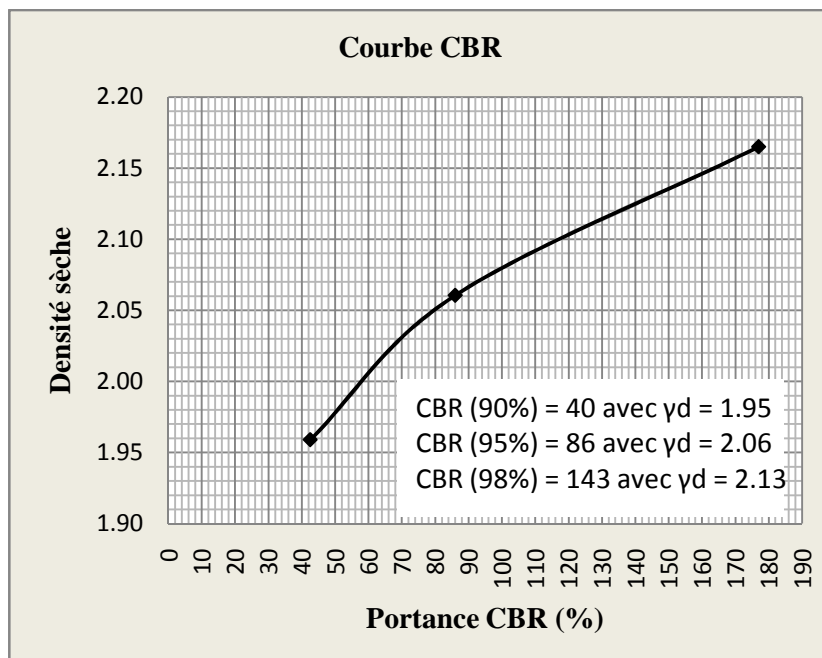


3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage								
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8
Masse totale humide (g)	540	510	820	690	620	580	705	680
Masse totale sèche (g)	510	480	765	640	565	530	635	610
Masse de la tare (g)	69,5	45	88,5	55	55,5	54	80	66
Masse d'eau (g)	30	30	55	50	55	50	70	70
Masse du sol sec (g)	440,5	435	676,5	585	509,5	476	555	544
Teneur en eau (%)	6,8	6,9	8,1	8,5	10,8	10,5	12,6	12,9
Teneur en eau moyenne (%)	6,9		8,3		10,6		12,7	
Teneur en eau initiale du matériau	0,6							
Densité de moulage								
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	6575		7195		6825		6985	
% de l'eau de mouillage	6		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	395		576		683		838	
Masse totale humide (g)	7685		7985		7970		7920	
Masse du moule (g)	3080		3080		3080		3080	
Masse nette humide (g)	4605		4905		4890		4840	
Volume du moule (cm ³)	2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2,21		2,35		2,34		2,32	
Densité sèche	2,07		2,17		2,12		2,06	



4. Essai CBR

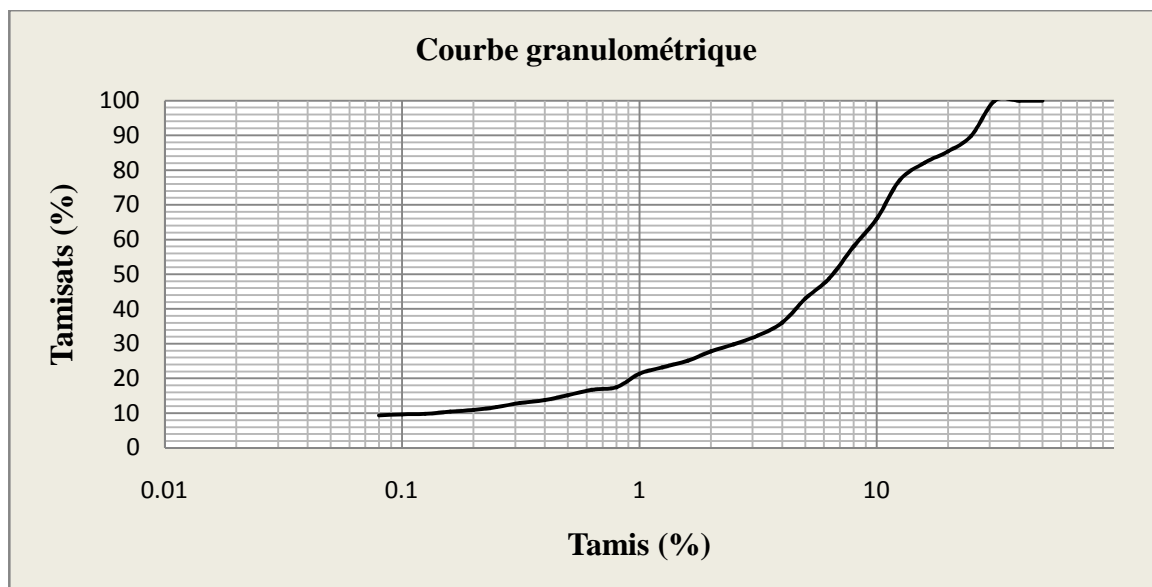


Annexe 10

Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 0/31,5 à 20%

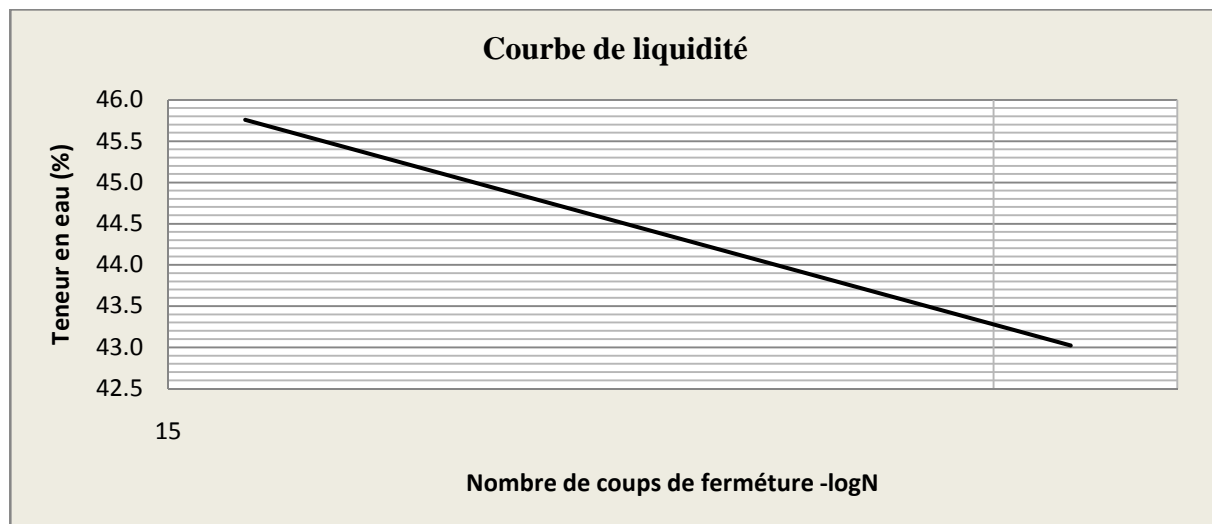
1. Analyse granulométrique Méthode par tamisage (NFP 18-560)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			6636	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	0	0	100
25	45	678	10,2	90
20	44	970	15	85
16	43	1181	18	82
12,5	42	1518	23	77
10	41	2258	34	66
8	40	2786	42	58
6,3	39	3402	51	49
5	38	3782	57	43
4	37	4244	64	36
3,15	36	4496	68	32
2,5	35	4659	70	30
2	34	4795	72	28
1,6	33	4970	75	25
1,25	32	5096	77	23
1	31	5220	79	21
0,8	30	5477	83	17
0,63	29	5527	83	17
0,5	28	5630	85	15
0,4	27	5723	86	14
0,315	26	5776	87	13
0,25	25	5860	88	12
0,2	24	5911	89	11
0,16	23	5946	90	10
0,125	22	5986	90	10
0,1	21	5998	90	10
0,08	20	6018	91	9



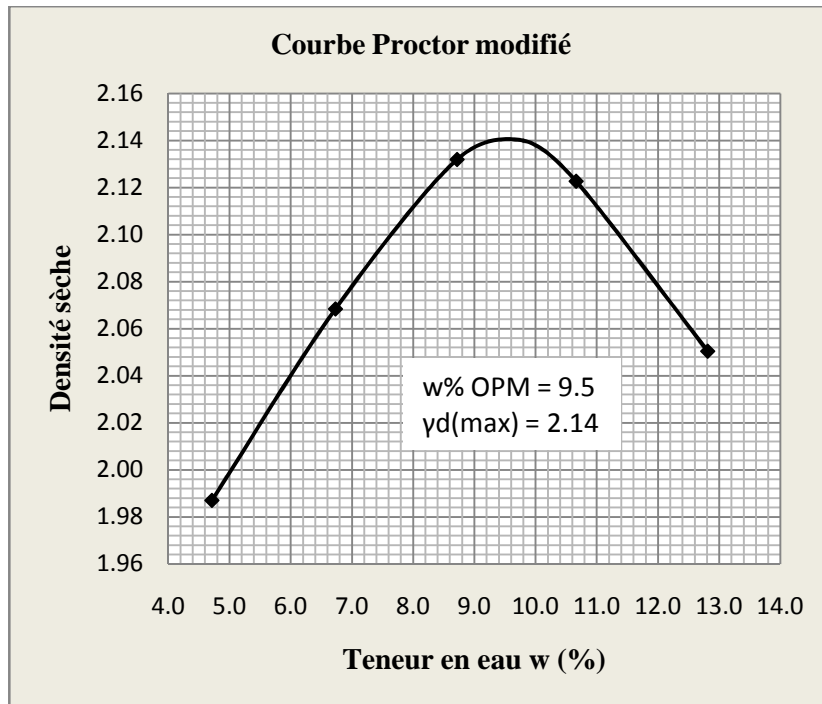
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Mesure n°	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande - WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Nombre de coups	16		20		24		28		32			
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Masse Totale humide (g)	39,83	37,31	40,63	39,58	37,22	38,07	40,27	38,8	38,53	36,56	36,75	35,06
Masse Totale sèche (g)	36,95	34,27	37,15	36,5	34,75	35,8	37,2	36,05	35,64	34,03	35,56	33,86
Masse de la tare (g)	30,65	27,59	29,45	29,71	29,15	30,69	30,37	29,64	28,14	28,67	30,66	28,8
Masse d'eau (g)	2,88	3,04	3,48	3,08	2,47	2,27	3,07	2,75	2,89	2,53	1,19	1,2
Masse du sol sec (g)	6,3	6,68	7,7	6,79	3445,85	5,11	6,83	6,41	7,5	5,36	4,9	5,06
Teneur en eau (%)	45,7	45,5	45,2	45,4	7,2	44,4	44,9	42,9	38,5	47,2	24,3	23,7
Teneur en eau moyenne	45,6		45,3		25,8		43,9		42,9		24,0	

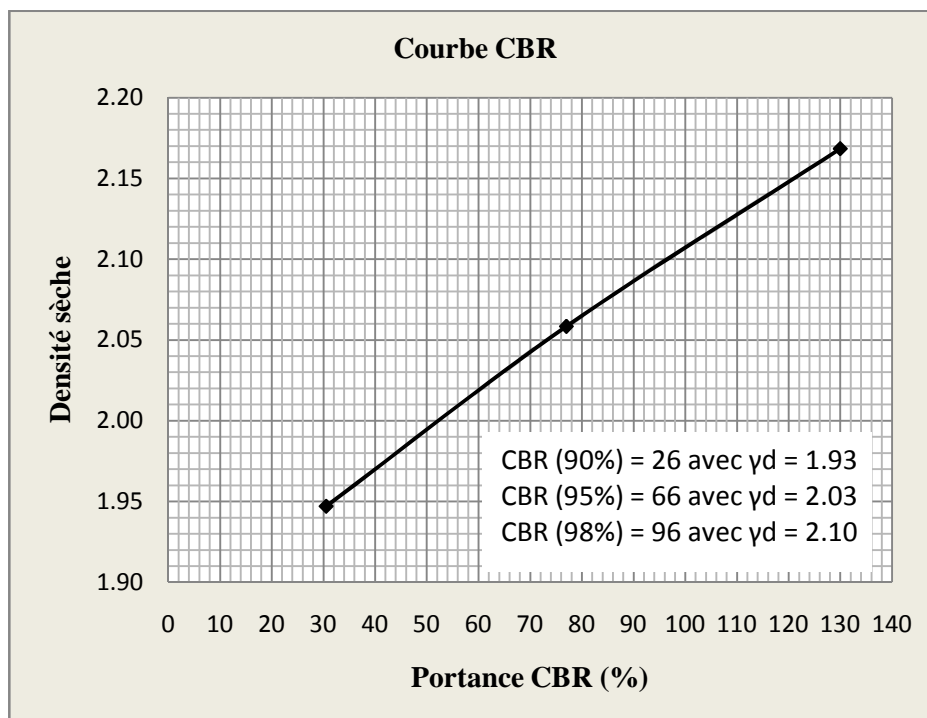


3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse totale humide (g)	640	640	590	605	650	675	805	700	810	755
Masse totale sèche (g)	610	620	560	570	605	625	735	640	720	685
Masse de la tare (g)	85	80	85	80	84,5	56	75	80	75	85
Masse d'eau (g)	30	20	30	35	45	50	70	60	90	70
Masse du sol sec (g)	525	540	475	490	520,5	569	660	560	645	600
Teneur en eau (%)	5,7	3,7	6,3	7,1	8,6	8,8	10,6	10,7	14,0	11,7
Teneur en eau moyenne (%)	4,7		6,7		8,7		10,7		12,8	
Teneur en eau initiale du matériau	0,7									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	6390		6795		6670		7610		6975	
% de l'eau de mouillage	4		6		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	256		408		534		761		837	
Masse totale humide (g)	7420		7685		7915		7980		7905	
Masse du moule (g)	3080		3080		3080		3080		3080	
Masse nette humide (g)	4340		4605		4835		4900		4825	
Volume du moule (cm ³)	2086		2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2,08		2,21		2,32		2,35		2,31	
Densité sèche	1,99		2,07		2,13		2,12		2,05	



4. Essai CBR

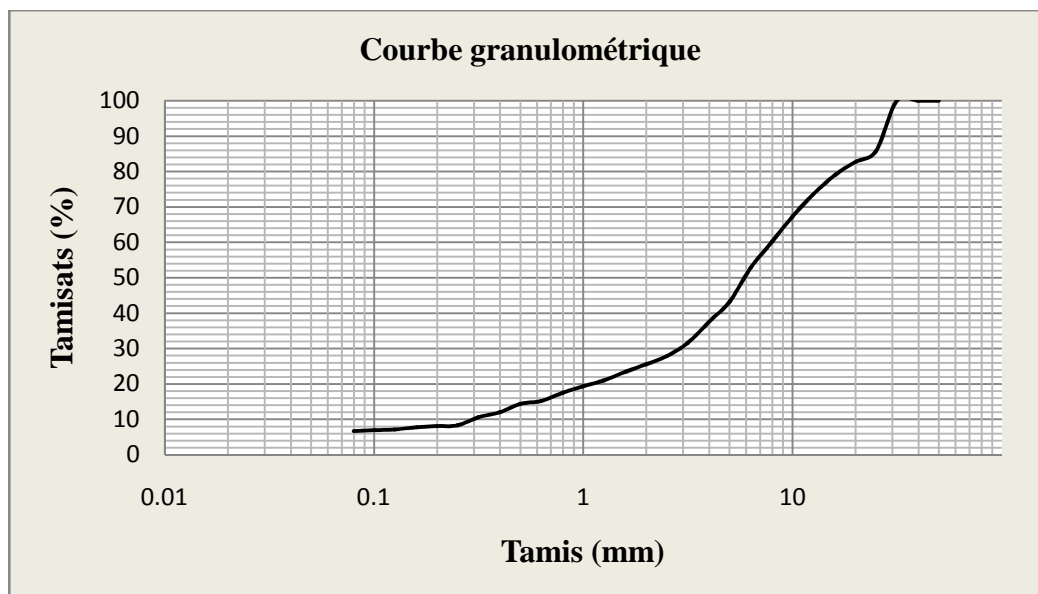


Annexe 11

Caractérisations physiques de l'emprunt n°01 amélioré au concassé 0/31,5 à 30%

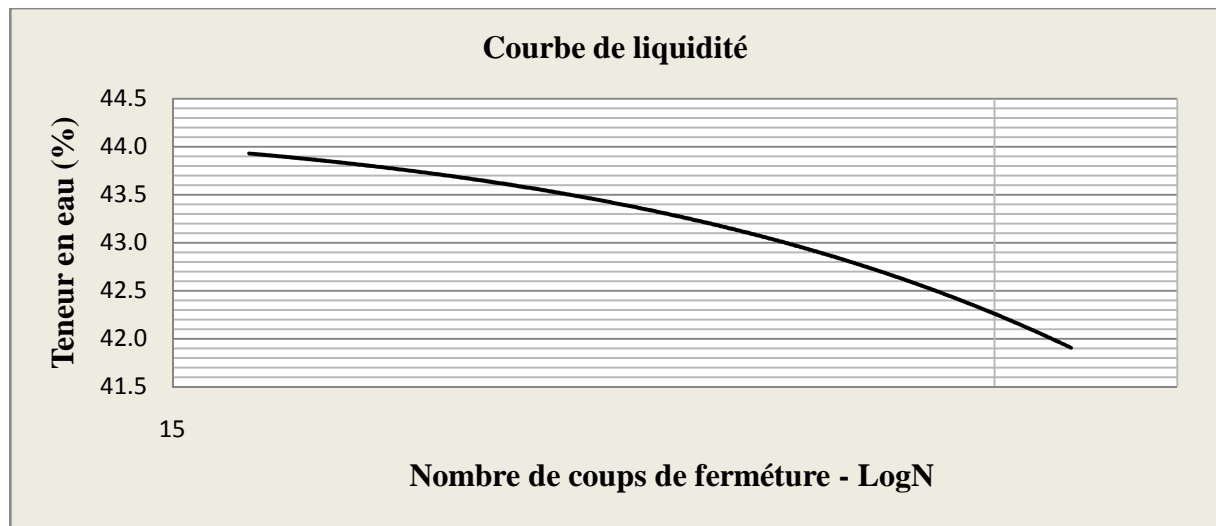
1. Analyse granulométrique Méthode par tamisage (NFP 18-560)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			6400	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	0	0	100
25	45	910	14,2	86
20	44	1108	17	83
16	43	1340	21	79
12,5	42	1696	27	74
10	41	2095	33	67
8	40	2544	40	60
6,3	39	3022	47	53
5	38	3631	57	43
4	37	3990	62	38
3,15	36	4380	68	32
2,5	35	4615	72	28
2	34	4760	74	26
1,6	33	4895	76	24
1,25	32	5055	79	21
1	31	5162	81	19
0,8	30	5278	82	18
0,63	29	5428	85	15
0,5	28	5480	86	14
0,4	27	5630	88	12
0,315	26	5722	89	11
0,25	25	5866	92	8
0,2	24	5880	92	8
0,16	23	5900	92	8
0,125	22	5940	93	7
0,1	21	5955	93	7
0,08	20	5972	93	7



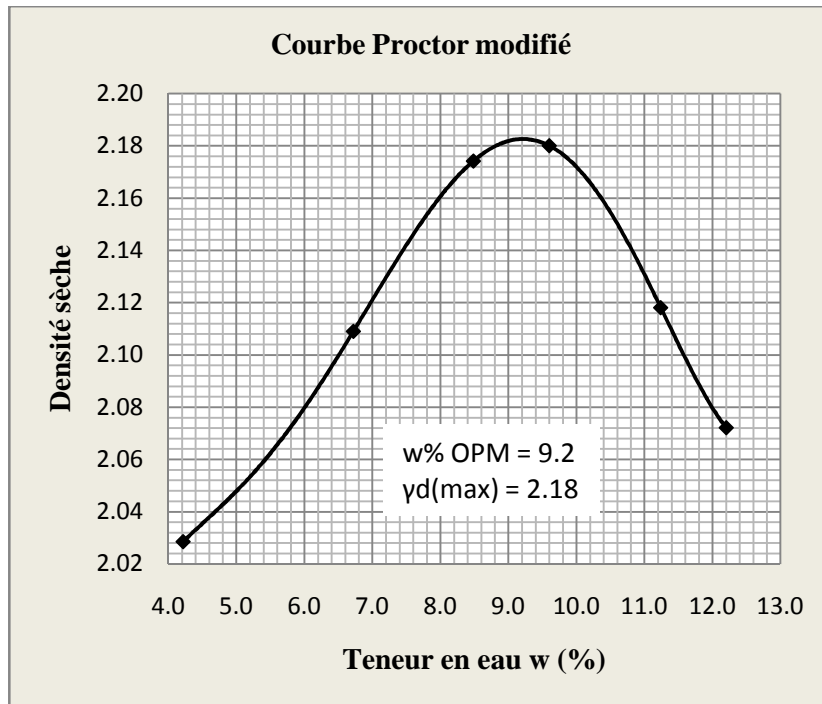
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

	Limite de liquidité à la coupelle de casagrande - WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Mesure n°	16		20		24		28		32		1	2
Nombre de coups	16		20		24		28		32		1	2
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Masse Totale humide (g)	38,68	36,96	39,45	35,91	35,4	38,73	36,7	40,14	37,66	36,45	33,25	32,52
Masse Totale sèche (g)	35,82	34,28	36,34	33,45	33,24	35,99	34,42	37,22	34,85	33,9	32,48	31,71
Masse de la tare (g)	29,31	28,17	29,17	27,84	28,2	29,72	28,98	30,41	28,14	27,84	29,26	28,3
Masse d'eau (g)	2,86	2,68	3,11	2,46	2,16	2,74	2,28	2,92	2,81	2,55	0,77	0,81
Masse du sol sec (g)	6,51	6,11	7,17	5,61	5,04	6,27	5,44	6,81	6,71	6,06	3,22	3,41
Teneur en eau (%)	43,9	43,9	43,4	43,9	42,9	43,7	41,9	42,9	41,9	42,1	23,9	23,8
Teneur en eau moyenne	43,9		43,6		43,3		42,4		42,0		23,8	

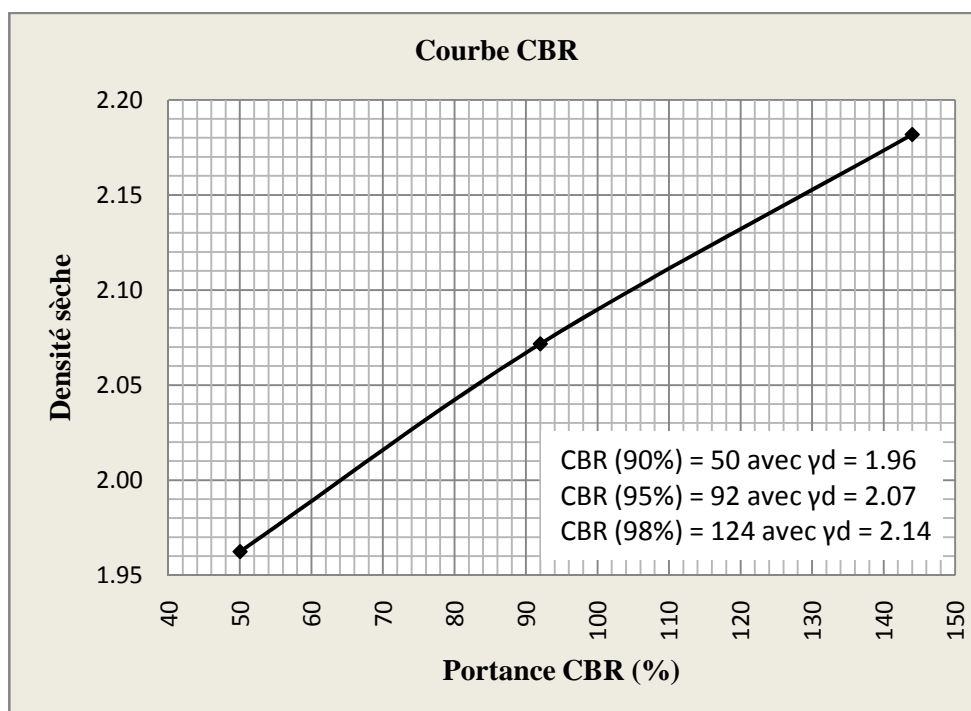


3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse totale humide (g)	525	575	555	530	500	495	515	530	550	510
Masse totale sèche (g)	505	555	525	500	465	460	470	480	495	460
Masse de la tare (g)	50	60	55	75	50	50	50	55	50	45
Masse d'eau (g)	20	20	30	30	35	35	45	50	55	50
Masse du sol sec (g)	455	495	470	425	415	410	420	425	445	415
Teneur en eau (%)	4,4	4,0	6,4	7,1	8,4	8,5	10,7	11,8	12,4	12,0
Teneur en eau moyenne (%)	4,2		6,7		8,5		11,2		12,2	
Teneur en eau initiale du matériau	0,6									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	7685		7420		6985		6775		7775	
% de l'eau de mouillage	4		6		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	307		445		559		678		933	
Masse totale humide (g)	7490		7775		8000		7995		7930	
Masse du moule (g)	3080		3080		3080		3080		3080	
Masse nette humide (g)	4410		4695		4920		4915		4850	
Volume du moule (cm ³)	2086		2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2,11		2,25		2,36		2,36		2,33	
Densité sèche	2,03		2,11		2,17		2,12		2,07	



4. Essai CBR

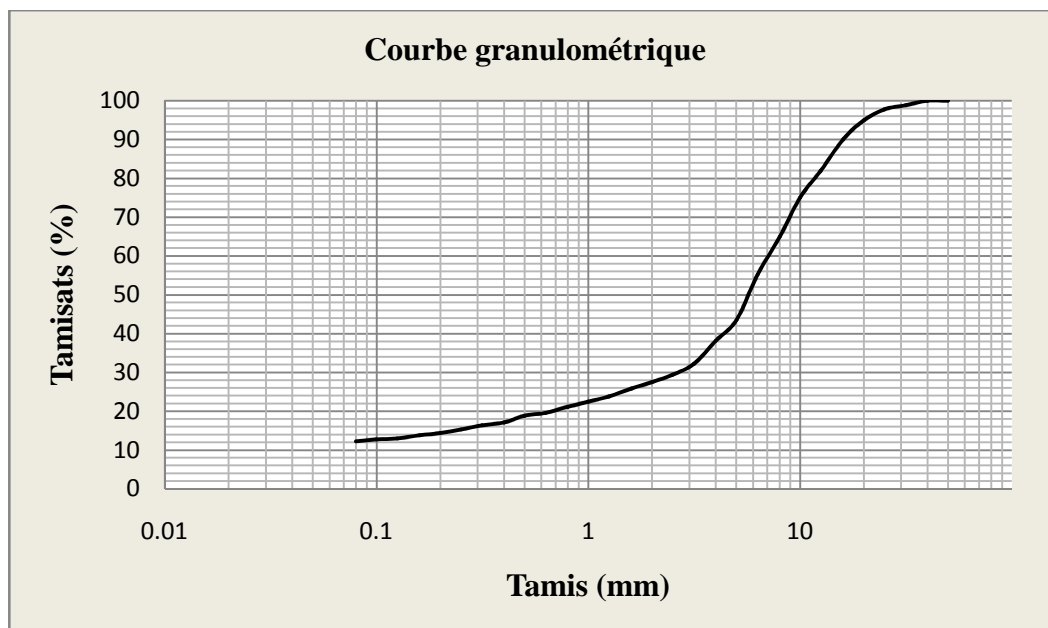


Annexe 12

Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 0/20 à 20%

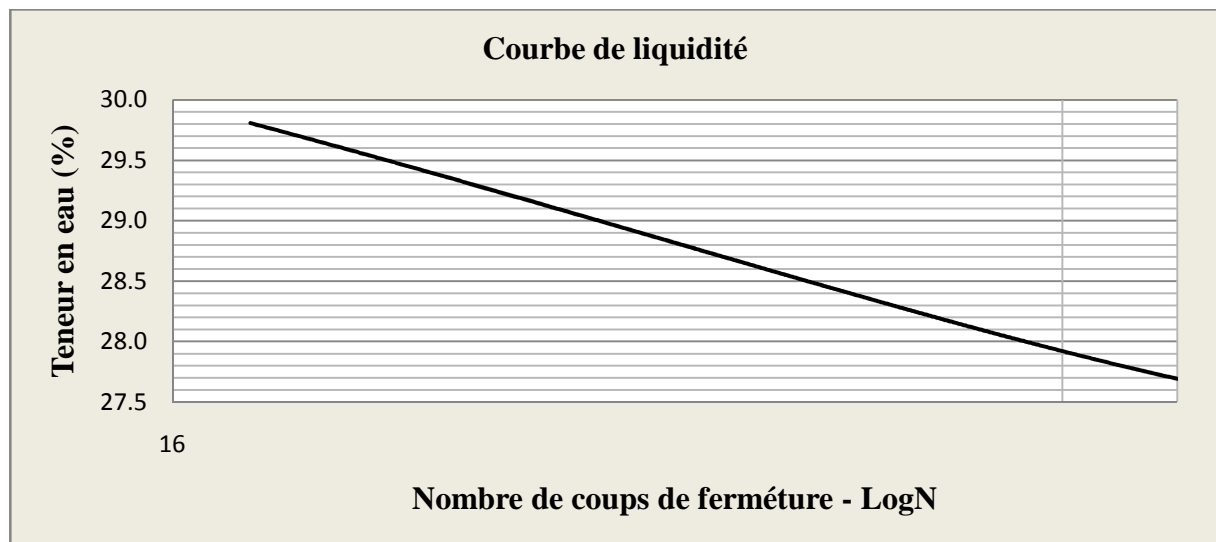
1. Analyse granulométrique Méthode par tamisage (NFP 18-560)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			6157	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	74	1	99
25	45	138	2,2	98
20	44	313	5	95
16	43	610	10	90
12,5	42	1112	18	82
10	41	1537	25	75
8	40	2162	35	65
6,3	39	2760	45	55
5	38	3480	57	43
4	37	3809	62	38
3,15	36	4175	68	32
2,5	35	4345	71	29
2	34	4463	72	28
1,6	33	4563	74	26
1,25	32	4690	76	24
1	31	4776	78	22
0,8	30	4855	79	21
0,63	29	4950	80	20
0,5	28	4999	81	19
0,4	27	5102	83	17
0,315	26	5147	84	16
0,25	25	5217	85	15
0,2	24	5271	86	14
0,16	23	5307	86	14
0,125	22	5358	87	13
0,1	21	5372	87	13
0,08	20	5402	88	12



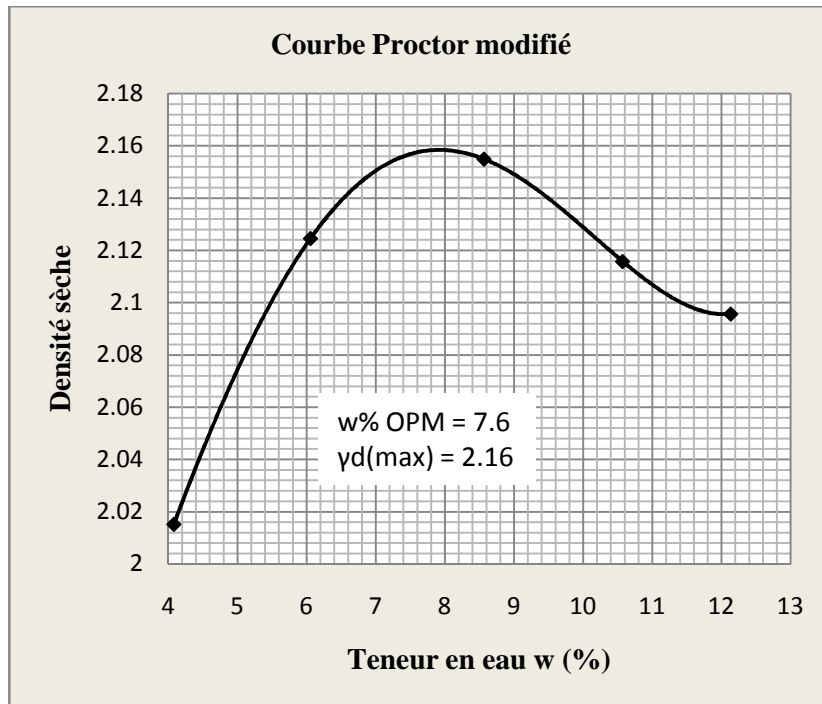
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande - WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Mesure n°	1		2		3		4		5			
Nombre de coups	17		22		26		30		35		1	2
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Masse Totale humide (g)	39,18	41,74	39,99	35,79	41,85	35,49	41,91	35,38	41,29	37,19	38,6	36,86
Masse Totale sèche (g)	37,11	39,3	37,43	33,89	39,36	33,56	39,44	33,73	38,72	35,37	37,55	35,78
Masse de la tare (g)	30,13	31,15	28,67	27,31	30,65	26,8	30,7	27,8	29,45	28,8	30,69	28,88
Masse d'eau (g)	2,07	2,44	2,56	1,9	2,49	1,93	2,47	1,65	2,57	1,82	1,05	1,08
Masse du sol sec (g)	6,98	8,15	8,76	6,58	8,71	6,76	8,74	5,93	9,27	6,57	6,86	6,9
Teneur en eau (%)	29,7	29,9	29,2	28,9	28,6	28,6	28,3	27,8	27,7	27,7	15,3	15,7
Teneur en eau moyenne	29,8		29,0		28,6		28,0		27,7		15,5	

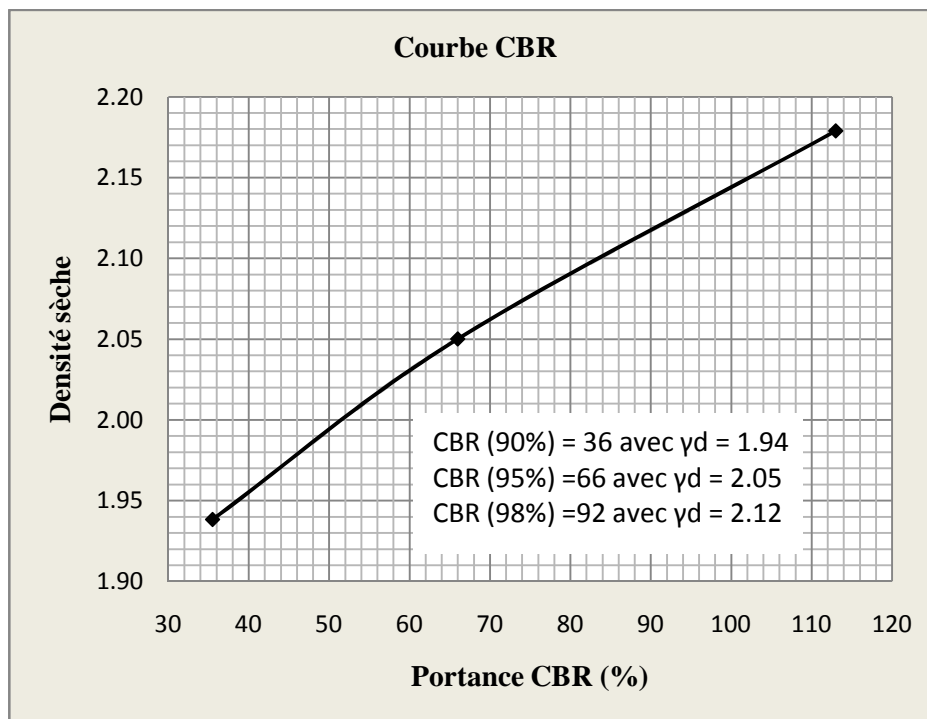


3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse totale humide (g)	540	490	505	585	480	475	535	545	830	740
Masse totale sèche (g)	525	470	480	555	445	445	490	500	750	665
Masse de la tare (g)	81,5	51	62	65,5	64,5	66,5	82	55	88,5	49
Masse d'eau (g)	15	20	25	30	35	30	45	45	80	75
Masse du sol sec (g)	443,5	419	418	489,5	380,5	378,5	408	445	661,5	616
Teneur en eau (%)	3,4	4,8	6,0	6,1	9,2	7,9	11,0	10,1	12,1	12,2
Teneur en eau moyenne (%)	4,1		6,1		8,6		10,6		12,1	
Teneur en eau initiale du matériau	0,3									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	6720		6615		6170		6790		7050	
% de l'eau de mouillage	4		6		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	269		397		494		679		846	
Masse totale humide (g)	7455		7780		7960		7960		7982	
Masse du moule (g)	3080		3080		3080		3080		3080	
Masse nette humide (g)	4375		4700		4880		4880		4902	
Volume du moule (cm ³)	2086		2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2,10		2,25		2,34		2,34		2,35	
Densité sèche	2,02		2,12		2,15		2,12		2,10	



4. Essai CBR

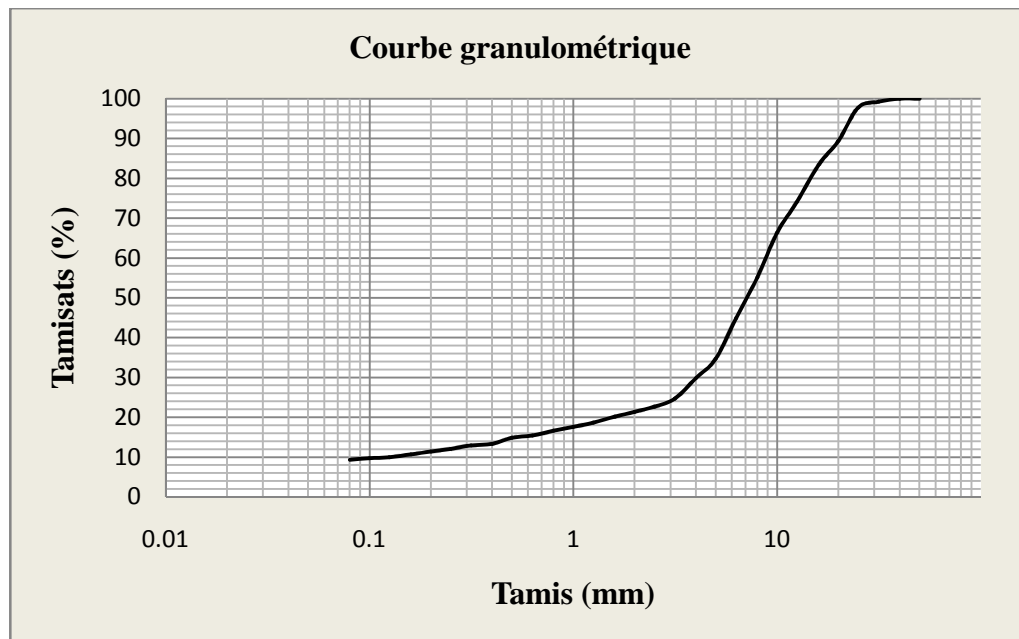


Annexe 13

Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 0/20 à 30%

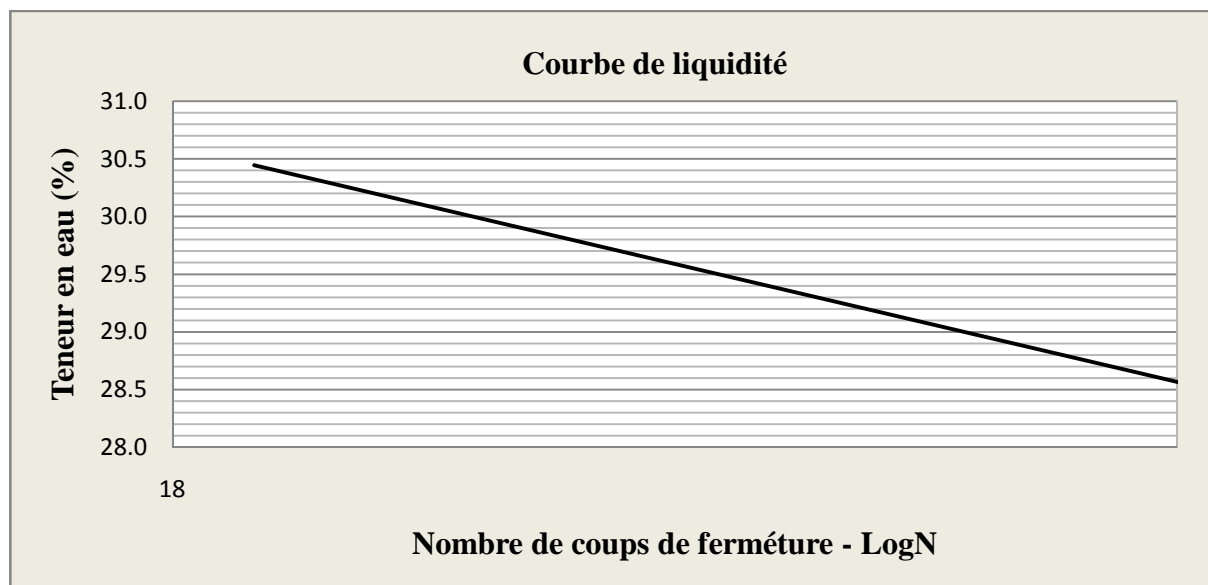
1. Analyse granulométrique Méthode par tamisage (NFP 18-560)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			6257	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	50	1	99
25	45	141	2,3	98
20	44	666	11	89
16	43	1040	17	83
12,5	42	1627	26	74
10	41	2105	34	66
8	40	2810	45	55
6,3	39	3445	55	45
5	38	4088	65	35
4	37	4390	70	30
3,15	36	4712	75	25
2,5	35	4840	77	23
2	34	4920	79	21
1,6	33	4997	80	20
1,25	32	5090	81	19
1	31	5156	82	18
0,8	30	5215	83	17
0,63	29	5290	85	15
0,5	28	5328	85	15
0,4	27	5422	87	13
0,315	26	5450	87	13
0,25	25	5502	88	12
0,2	24	5545	89	11
0,16	23	5590	89	11
0,125	22	5636	90	10
0,1	21	5648	90	10
0,08	20	5676	91	9



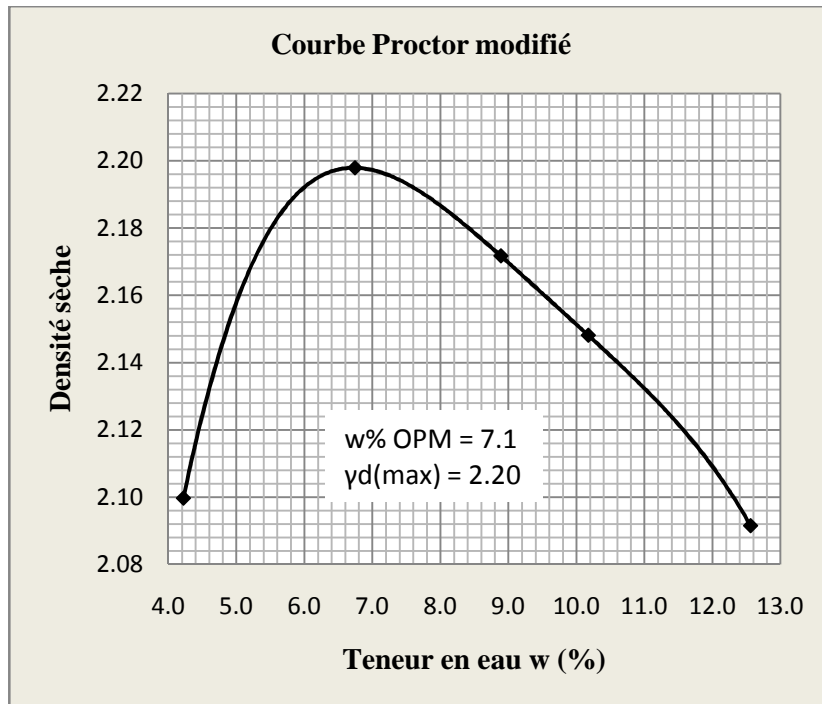
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

	Limite de liquidité à la coupelle de casagrande - WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Messure n°	1		2		3		4		5			
Nombre de coups	19		24		28		32		35		1	2
Numero de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Masse Totale humide (g)	42,1	37,09	39,65	36,8	37,15	36,89	38,14	44,32	40,84	40,02	37,73	36,74
Masse Totale sèche (g)	39,35	35	37,33	35,07	35,12	34,91	35,83	41,17	38,57	37,56	36,58	35,63
Masse de la tare (g)	30,41	28,14	29,13	29,26	28,17	28,2	27,84	30,37	30,66	28,91	28,98	28,3
Masse d'eau (g)	2,75	2,09	2,32	1,73	2,03	1,98	2,31	3,15	2,27	2,46	1,15	1,11
Masse du sol sec (g)	8,94	6,86	8,2	5,81	6,95	6,71	7,99	10,8	7,91	8,65	7,6	7,33
Teneur en eau (%)	30,8	30,5	28,3	29,8	29,2	29,5	28,9	29,2	28,7	28,4	15,1	15,1
Teneur en eau moyenne	30,6		29,0		29,4		29,0		28,6		15,1	

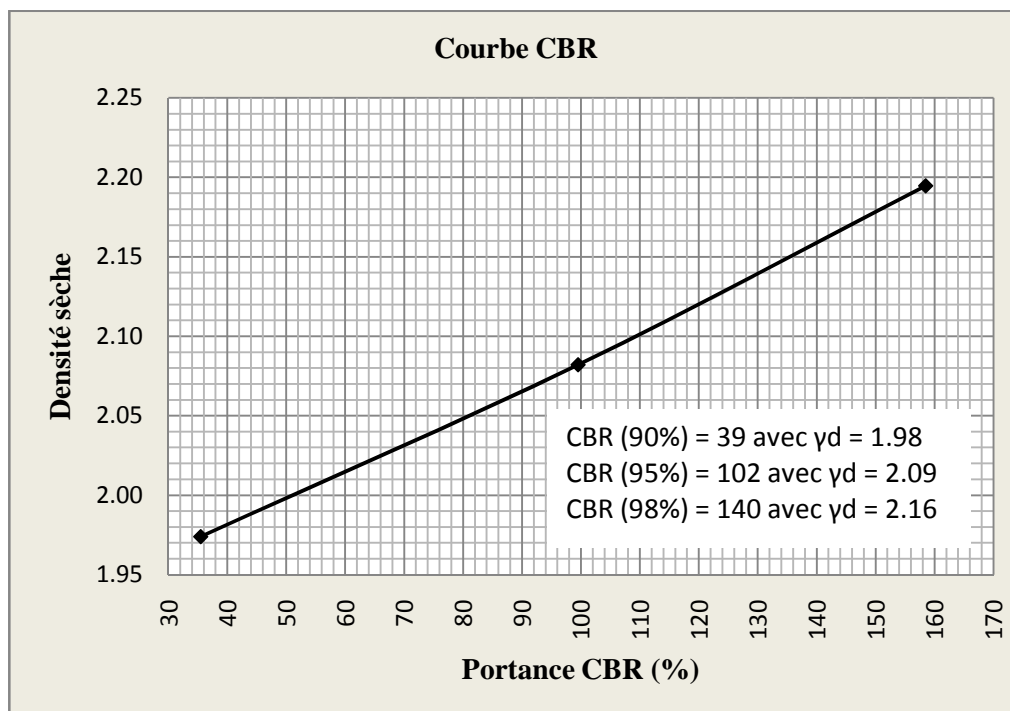


3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	9	10	3	4	5	6	7	8
Masse totale humide (g)	485	490	510	550	580	510	615	640	730	630
Masse totale sèche (g)	465	475	480	520	535	475	565	585	655	565
Masse de la tare (g)	52,5	58	49	60	63,5	50	54,5	64	51,5	53
Masse d'eau (g)	20	15	30	30	45	35	50	55	75	65
Masse du sol sec (g)	412,5	417	431	460	471,5	425	510,5	521	603,5	512
Teneur en eau (%)	4,8	3,6	7,0	6,5	9,5	8,2	9,8	10,6	12,4	12,7
Teneur en eau moyenne (%)	4,2		6,7		8,9		10,2		12,6	
Teneur en eau initiale du matériau	0,5									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	7005		6925		7750		7460		7750	
% de l'eau de mouillage	4		6		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	280		416		620		746		930	
Masse totale humide (g)	7645		7975		8015		8020		7995	
Masse du moule (g)	3080		3081		3082		3083		3084	
Masse nette humide (g)	4565		4894		4933		4937		4911	
Volume du moule (cm ³)	2086		2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2,19		2,35		2,36		2,37		2,35	
Densité sèche	2,10		2,20		2,17		2,15		2,09	



4. Essai CBR

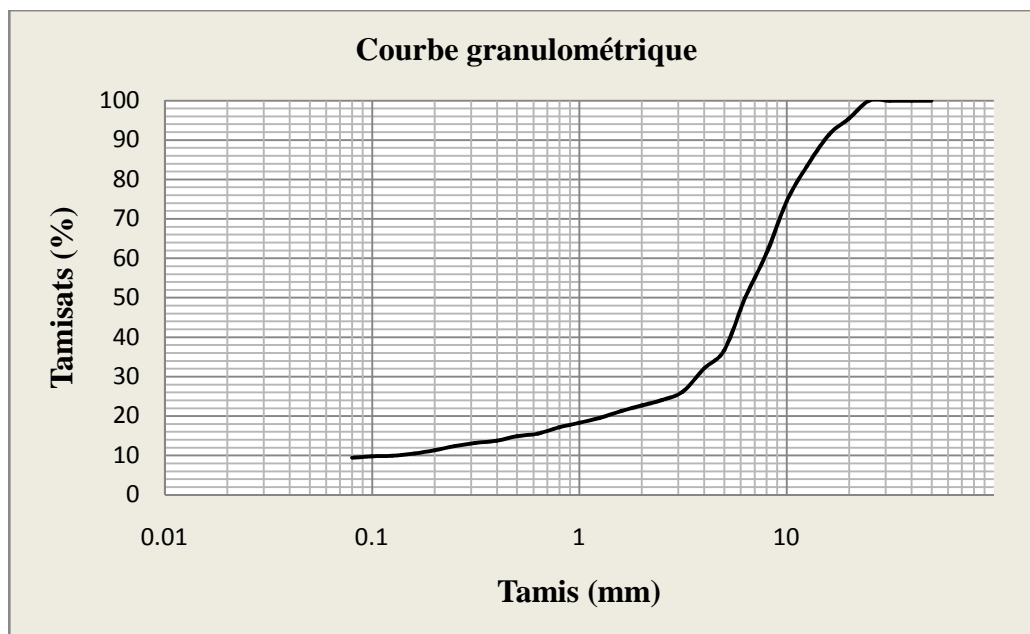


Annexe 14

Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 5/20 à 20%

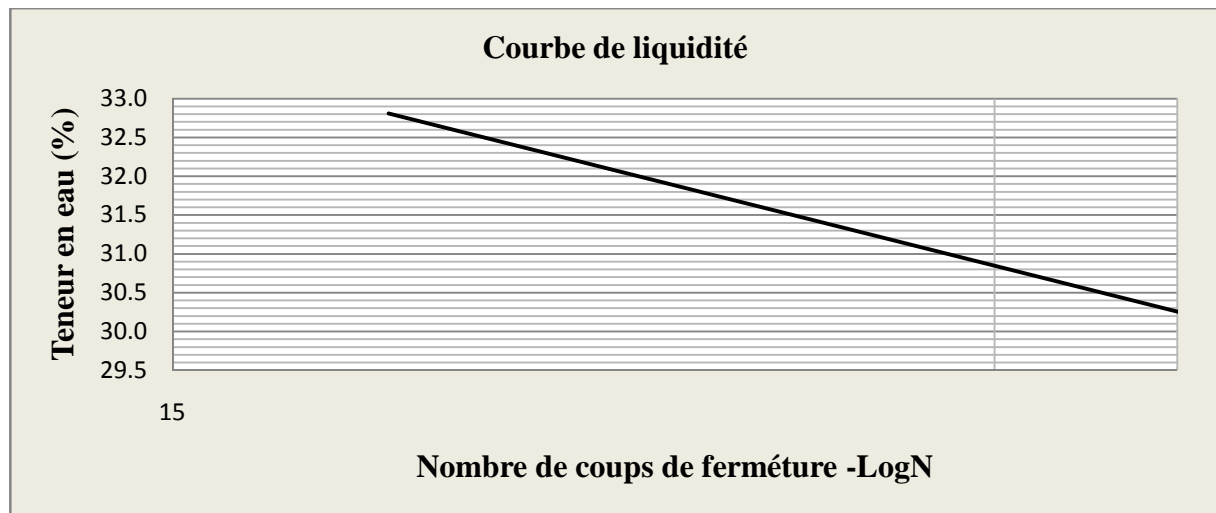
1. Analyse granulométrique Méthode par tamisage (NFP 18-560)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			5703	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	0	0	100
25	45	0	0,0	100
20	44	259	5	95
16	43	492	9	91
12,5	42	958	17	83
10	41	1455	26	74
8	40	2206	39	61
6,3	39	2852	50	50
5	38	3607	63	37
4	37	3875	68	32
3,15	36	4209	74	26
2,5	35	4333	76	24
2	34	4410	77	23
1,6	33	4488	79	21
1,25	32	4592	81	19
1	31	4662	82	18
0,8	30	4724	83	17
0,63	29	4815	84	16
0,5	28	4852	85	15
0,4	27	4918	86	14
0,315	26	4952	87	13
0,25	25	4999	88	12
0,2	24	5057	89	11
0,16	23	5102	89	11
0,125	22	5137	90	10
0,1	21	5144	90	10
0,08	20	5166	91	9



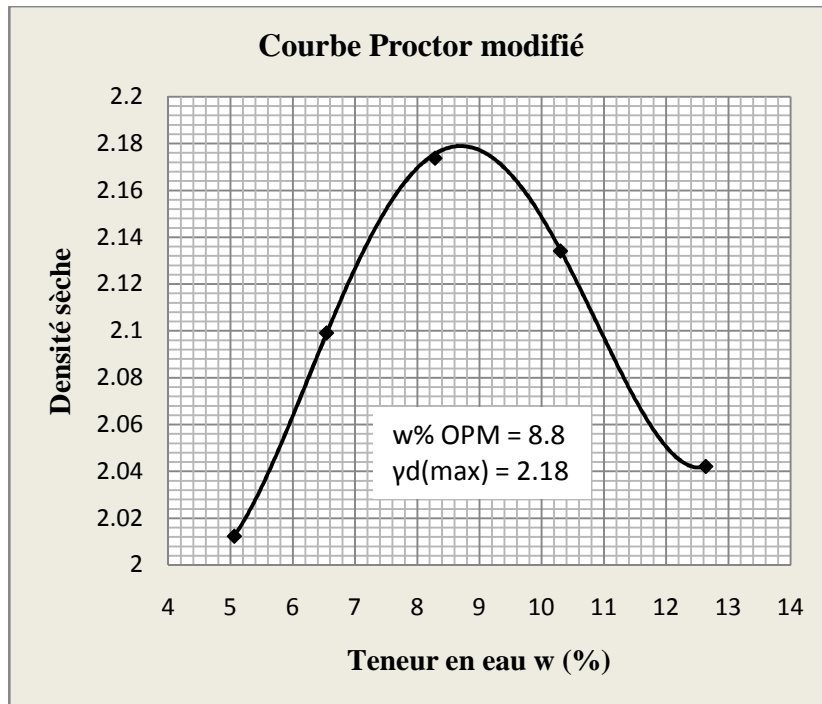
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Mesure n°	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande - WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Nombre de coups	18		23		27		31		35		1	2
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Masse Totale humide (g)	36,52	36,12	37,82	40,41	40,18	38,84	42,06	39,45	36,51	42,2	34,41	35,13
Masse Totale sèche (g)	34,48	34	35,65	38,04	37,47	36,28	39,35	36,9	34,8	39,49	33,41	34,16
Masse de la tare (g)	28,2	27,54	28,91	30,65	28,88	28,17	30,66	28,67	29,13	30,41	27,31	28,3
Masse d'eau (g)	2,04	2,12	2,17	2,37	2,71	2,56	2,71	2,55	1,71	2,71	1	0,97
Masse du sol sec (g)	6,28	6,46	6,74	7,39	8,59	8,11	8,69	8,23	5,67	9,08	6,1	5,86
Teneur en eau (%)	32,5	32,8	32,2	32,1	31,5	31,6	31,2	31,0	30,2	29,8	16,4	16,6
Teneur en eau moyenne	32,7		32,1		31,6		31,1		30,0		16,5	

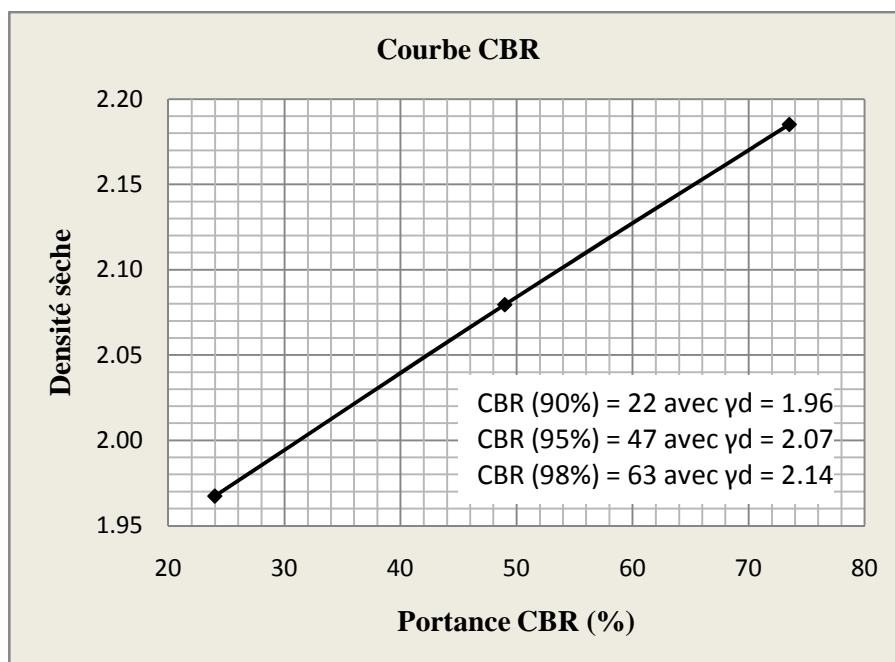


3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse totale humide (g)	575	565	510	510	645	620	615	640	820	700
Masse totale sèche (g)	550	540	485	480	600	580	565	585	735	630
Masse de la tare (g)	50	51,5	72	53	66	88,5	66,5	64,5	55	82
Masse d'eau (g)	25	25	25	30	45	40	50	55	85	70
Masse du sol sec (g)	500	488,5	413	427	534	491,5	498,5	520,5	680	548
Teneur en eau (%)	5,0	5,1	6,1	7,0	8,4	8,1	10,0	10,6	12,5	12,8
Teneur en eau moyenne (%)	5,1		6,5		8,3		10,3		12,6	
Teneur en eau initiale du matériau	0,6									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	6440		5910		7565		7005		7010	
% de l'eau de mouillage	4		6		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	258		355		605		701		841	
Masse totale humide (g)	7490		7745		7990		7990		7878	
Masse du moule (g)	3080		3080		3080		3080		3080	
Masse nette humide (g)	4410		4665		4910		4910		4798	
Volume du moule (cm ³)	2086		2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2,11		2,24		2,35		2,35		2,30	
Densité sèche	2,01		2,10		2,17		2,13		2,04	



4. Essai CBR

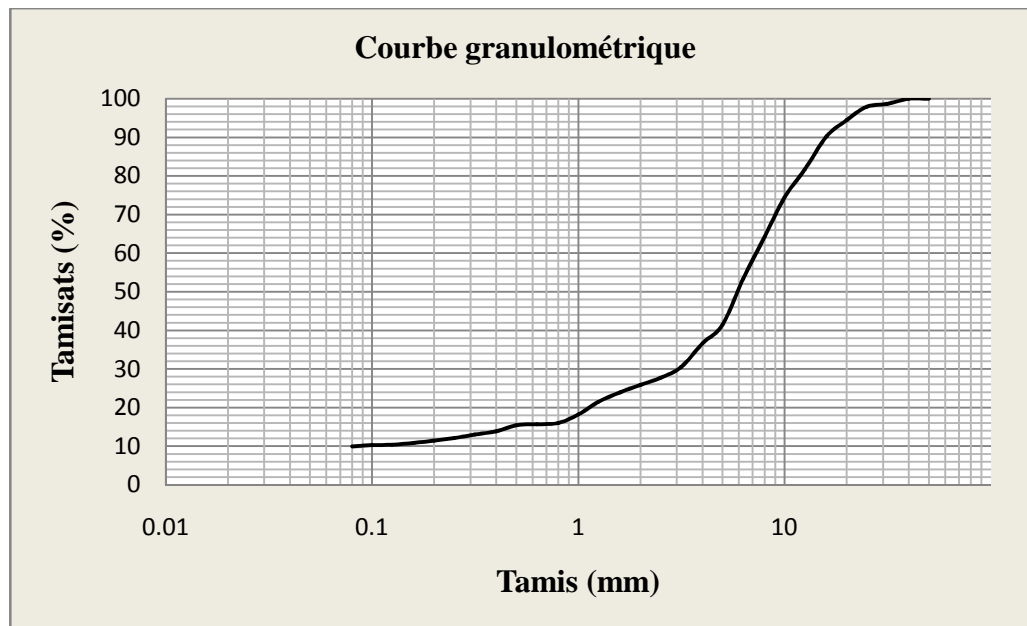


Annexe 15

Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 5/20 à 30%

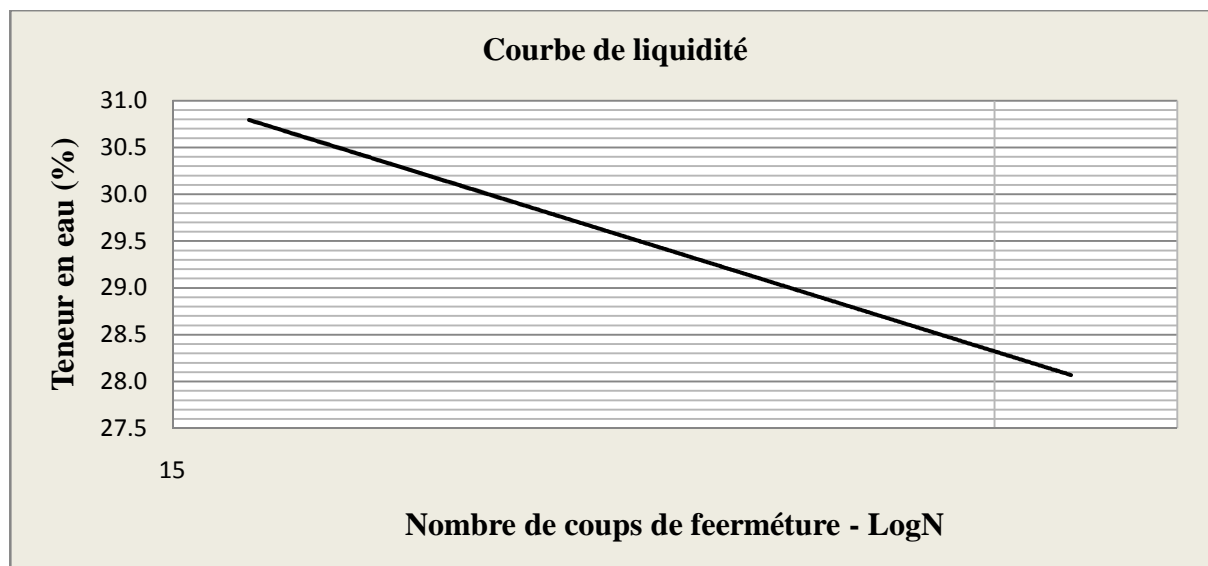
1. Analyse granulométrique Méthode par tamisage (NFP 18-560)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			7600	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	106	1	99
25	45	162	2,1	98
20	44	424	6	94
16	43	740	10	90
12,5	42	1395	18	82
10	41	1944	26	74
8	40	2718	36	64
6,3	39	3544	47	53
5	38	4447	59	41
4	37	4812	63	37
3,15	36	5283	70	30
2,5	35	5496	72	28
2	34	5636	74	26
1,6	33	5778	76	24
1,25	32	5968	79	21
1	31	6215	82	18
0,8	30	6380	84	16
0,63	29	6405	84	16
0,5	28	6425	85	15
0,4	27	6544	86	14
0,315	26	6608	87	13
0,25	25	6680	88	12
0,2	24	6730	89	11
0,16	23	6770	89	11
0,125	22	6810	90	10
0,1	21	6820	90	10
0,08	20	6842	90	10



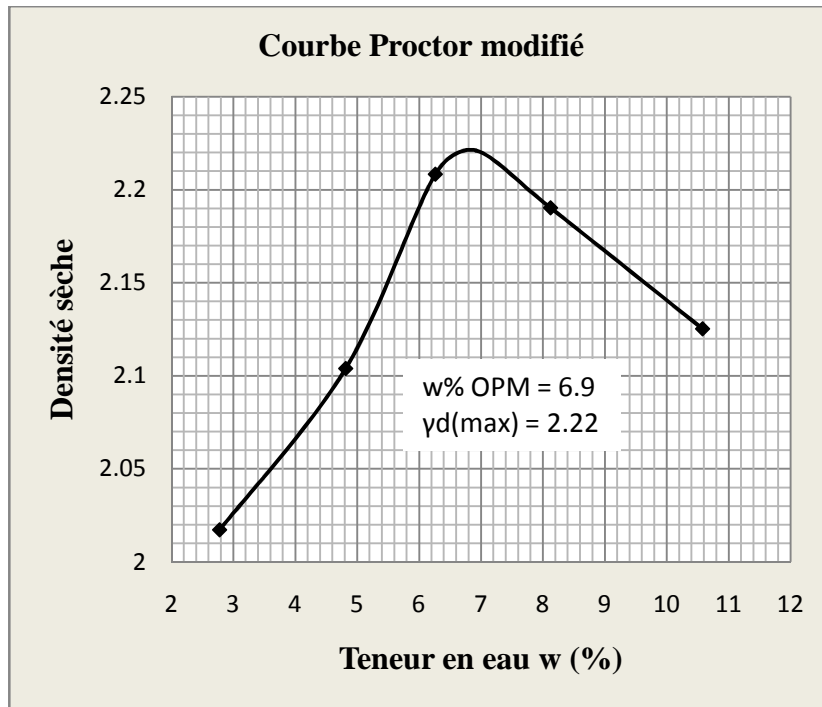
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Mesure n°	Limite de liquidité à la coupelle de casagrande - WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Nombre de coups	16		20		24		28		32		1	2
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Masse Totale humide (g)	41,82	41,2	42,25	40,15	42,38	42,42	36,5	32,81	34,63	32,28	31,5	34,75
Masse Totale sèche (g)	38,88	38,5	39,21	37,63	39,5	39,51	33,11	30,46	31,91	30,25	30,21	33,46
Masse de la tare (g)	29,31	29,64	29,15	29,17	29,71	29,72	21,26	22,19	22,21	22,93	22,31	25,61
Masse d'eau (g)	2,94	2,7	3,04	2,52	2,88	2,91	3,39	2,35	2,72	2,03	1,29	1,29
Masse du sol sec (g)	9,57	8,86	10,06	8,46	9,79	9,79	11,85	8,27	9,7	7,32	7,9	7,85
Teneur en eau (%)	30,7	30,5	30,2	29,8	29,4	29,7	28,6	28,4	28,0	27,7	16,3	16,4
Teneur en eau moyenne	30,6		30,0		29,6		28,5		27,9		16,4	

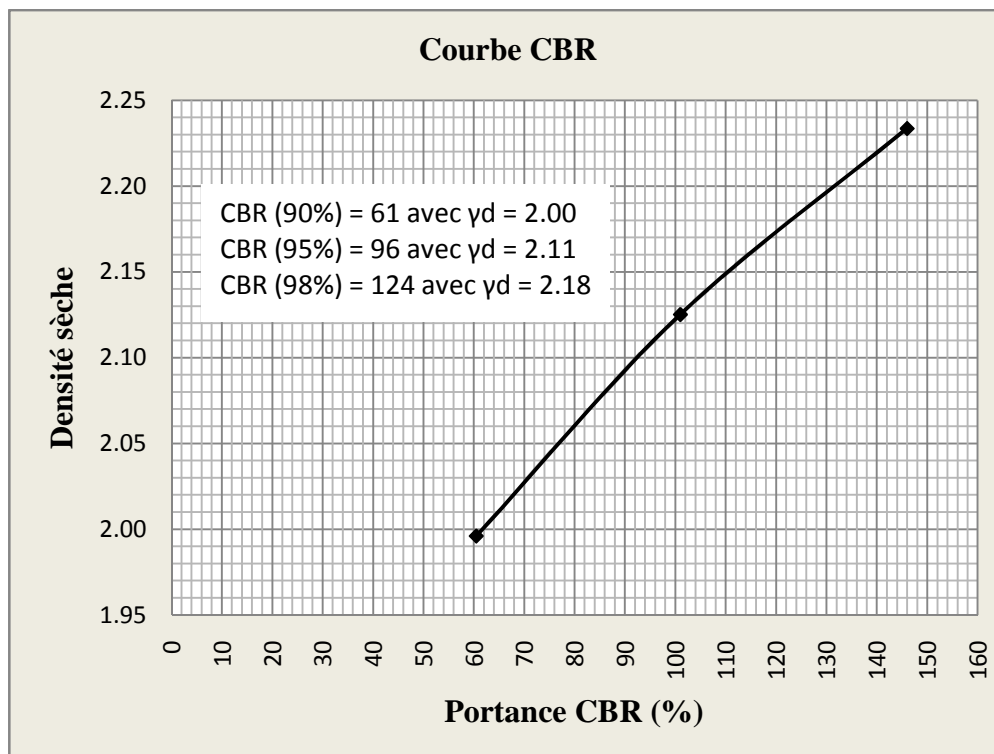


3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse totale humide (g)	530	510	585	515	605	645	580	595	645	625
Masse totale sèche (g)	515	500	560	495	575	610	540	555	590	570
Masse de la tare (g)	64	51,5	65,5	58	92	55,5	55,5	54	68	52
Masse d'eau (g)	15	10	25	20	30	35	40	40	55	55
Masse du sol sec (g)	451	448,5	494,5	437	483	554,5	484,5	501	522	518
Teneur en eau (%)	3,3	2,2	5,1	4,6	6,2	6,3	8,3	8,0	10,5	10,6
Teneur en eau moyenne (%)	2,8		4,8		6,3		8,1		10,6	
Teneur en eau initiale du matériau	0,5									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	7000		7905		6860		7050		6910	
% de l'eau de mouillage	2		4		6		8		10	
Eau de mouillage (g)	140		316		412		564		691	
Masse totale humide (g)	7405		7680		7975		8020		7982	
Masse du moule (g)	3080		3080		3080		3080		3080	
Masse nette humide (g)	4325		4600		4895		4940		4902	
Volume du moule (cm ³)	2086		2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2,07		2,21		2,35		2,37		2,35	
Densité sèche	2,02		2,10		2,21		2,19		2,13	



4. Essai CBR

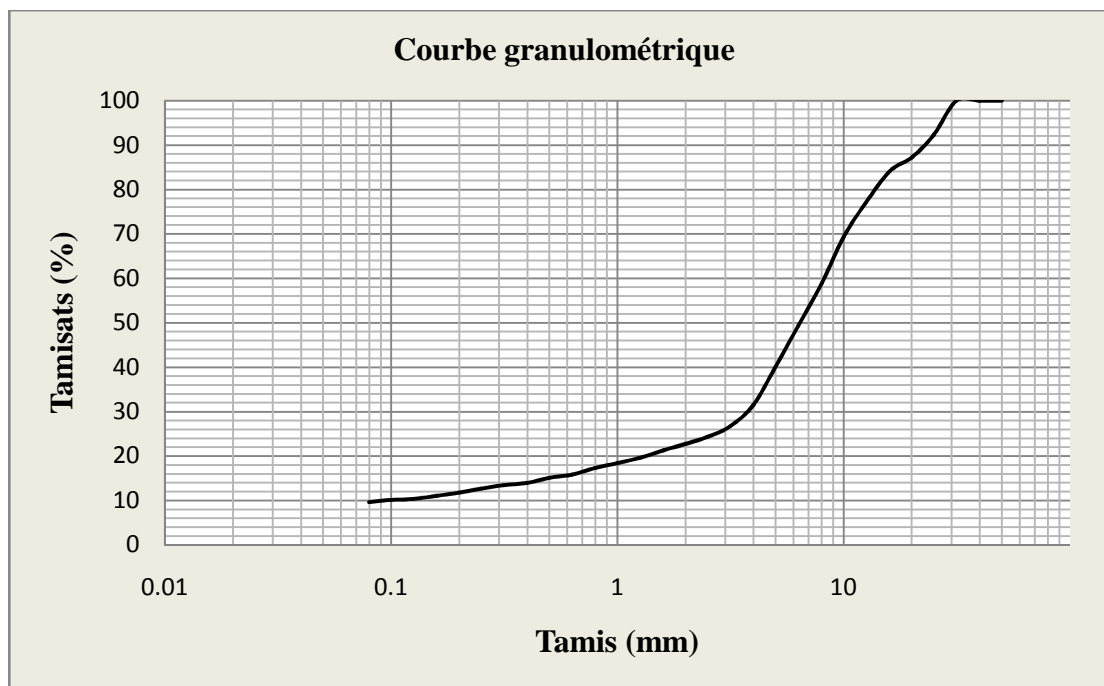


Annexe 16

Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 0/31,5 à 20%

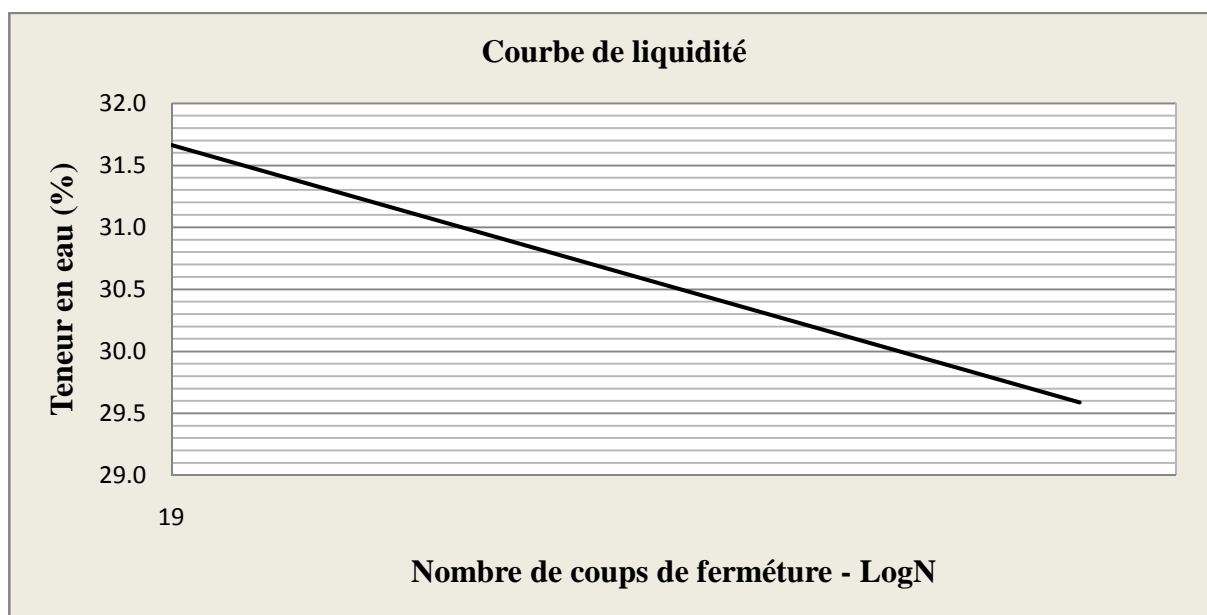
1. Analyse granulométrique Méthode par tamisage (NFP 18-560)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			7032	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	0	0	100
25	45	542	7,7	92
20	44	900	13	87
16	43	1117	16	84
12,5	42	1626	23	77
10	41	2158	31	69
8	40	2894	41	59
6,3	39	3565	51	49
5	38	4210	60	40
4	37	4817	69	31
3,15	36	5155	73	27
2,5	35	5322	76	24
2	34	5432	77	23
1,6	33	5533	79	21
1,25	32	5656	80	20
1	31	5737	82	18
0,8	30	5812	83	17
0,63	29	2920	42	58
0,5	28	5970	85	15
0,4	27	6050	86	14
0,315	26	6085	87	13
0,25	25	6145	87	13
0,2	24	6204	88	12
0,16	23	6255	89	11
0,125	22	6307	90	10
0,1	21	6320	90	10
0,08	20	6356	90	10



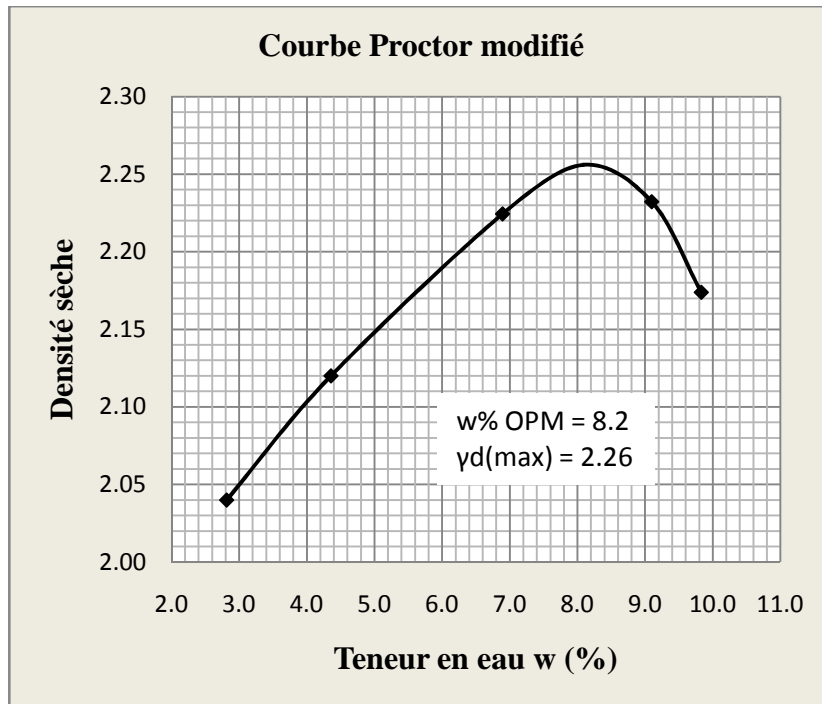
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Mesure n°	Limite de liquidité à la coupelle de casagrande - WL								Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		1	2
Nombre de coups	19		24		29		33		1	2
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse Totale humide (g)	40,14	36,92	40,24	36,85	39,05	38,7	37,2	39,88	37,52	38,23
Masse Totale sèche (g)	37,97	34,94	37,98	34,73	36,52	36,17	35,3	37,48	36,25	36,98
Masse de la tare (g)	31,15	28,67	30,65	27,84	28,17	27,84	28,8	29,43	28,14	28,91
Masse d'eau (g)	2,17	1,98	2,26	2,12	2,53	2,53	1,9	2,4	1,27	1,25
Masse du sol sec (g)	6,82	6,27	7,33	6,89	8,35	8,33	6,5	8,05	8,11	8,07
Teneur en eau (%)	31,8	31,6	30,8	30,8	30,3	30,4	29,2	29,8	15,7	15,5
Teneur en eau moyenne	31,7		30,8		30,3		29,5		15,6	

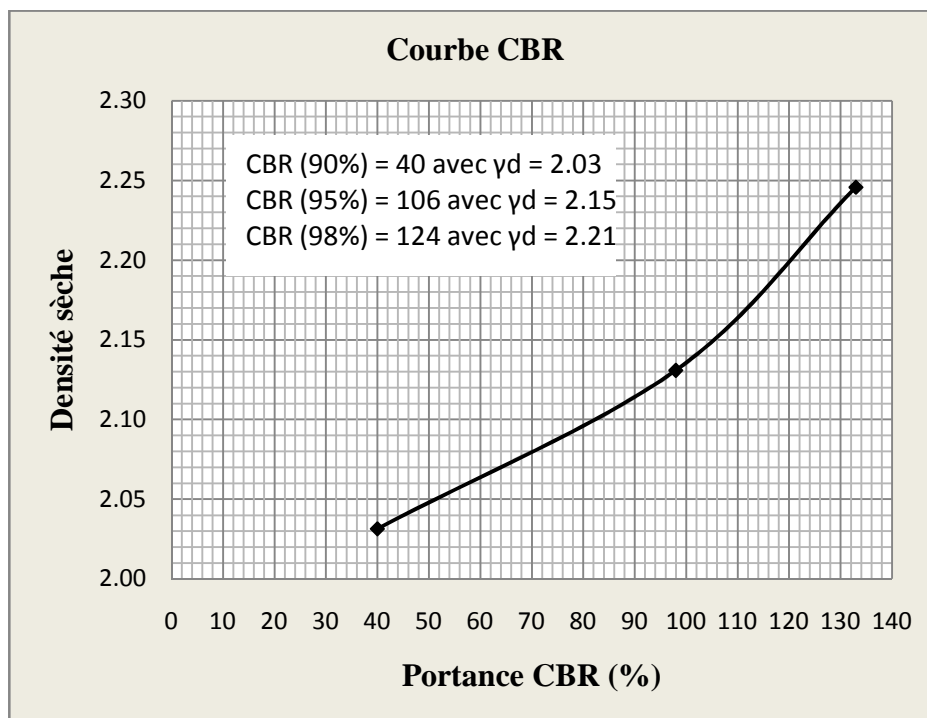


3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse totale humide (g)	685	745	735	685	605	660	780	810	880	850
Masse totale sèche (g)	670	725	705	660	570	620	720	750	810	775
Masse de la tare (g)	66,5	89,5	52	52,5	50	53	65,5	85,5	53	54,5
Masse d'eau (g)	15	20	30	25	35	40	60	60	70	75
Masse du sol sec (g)	603,5	635,5	653	607,5	520	567	654,5	664,5	757	720,5
Teneur en eau (%)	2,5	3,1	4,6	4,1	6,7	7,1	9,2	9,0	9,2	10,4
Teneur en eau moyenne (%)	2,8		4,4		6,9		9,1		9,8	
Teneur en eau initiale du matériau	0,6									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	6610		6222		8094		7065		6350	
% de l'eau de mouillage	2		4		6		8		10	
Eau de mouillage (g)	132		249		486		565		635	
Masse totale humide (g)	7455		7695		8040		8160		8060	
Masse du moule (g)	3080		3080		3080		3080		3080	
Masse nette humide (g)	4375		4615		4960		5080		4980	
Volume du moule (cm ³)	2086		2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2,10		2,21		2,38		2,44		2,39	
Densité sèche	2,04		2,12		2,22		2,23		2,17	



4. Essai CBR

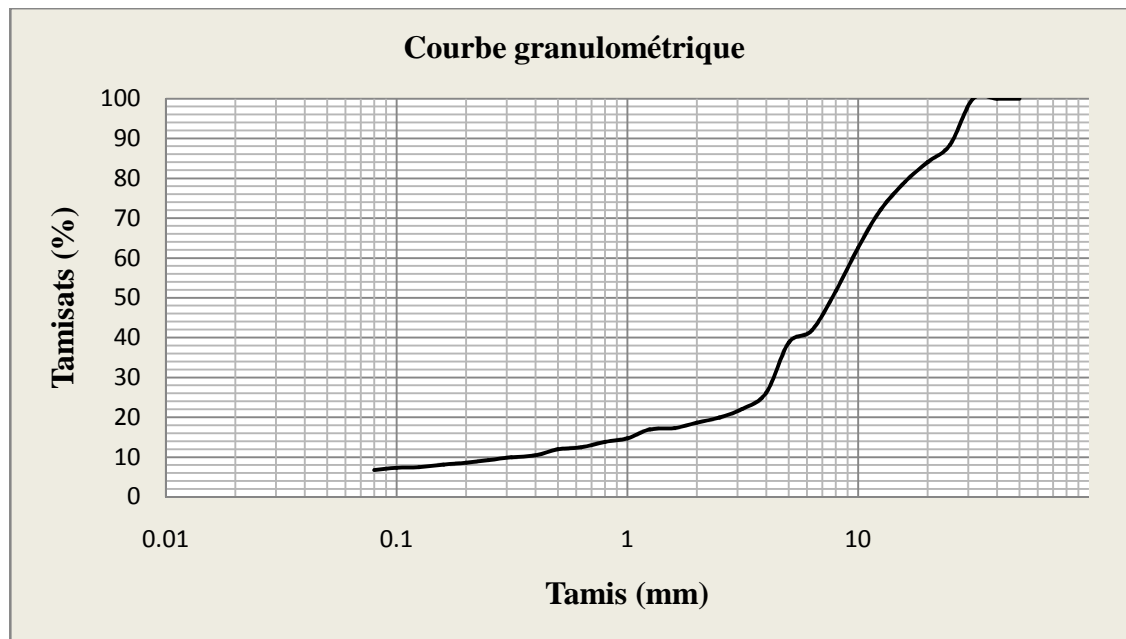


Annexe 17

Caractérisations physiques de l'emprunt n°02 amélioré au concassé 0/31,5 à 30%

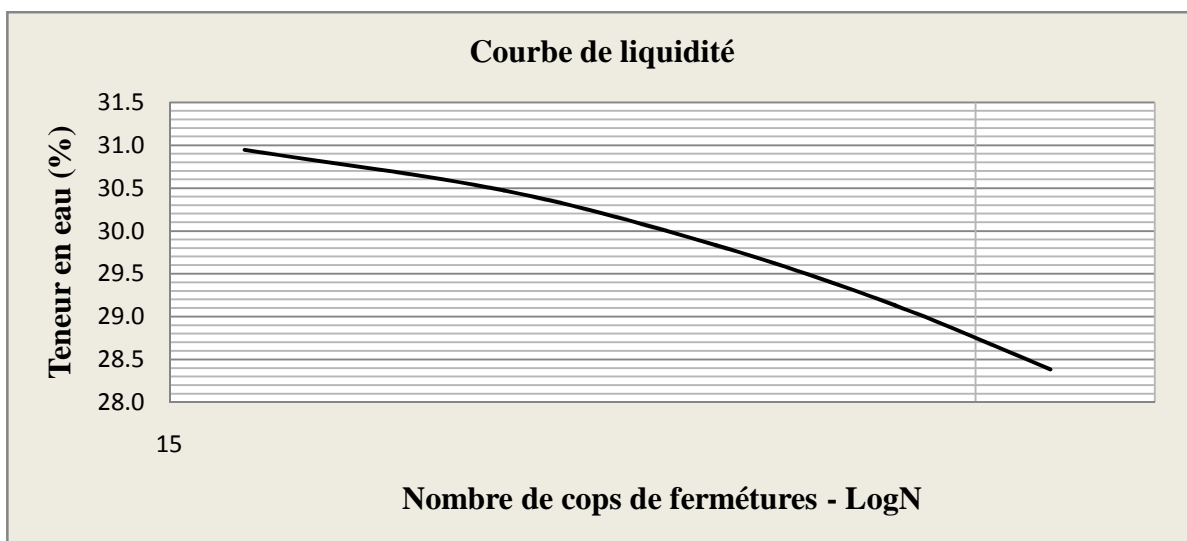
1. Analyse granulométrique Méthode par tamisage (NFP 18-560)

Masse de l'échantillon sec Ms(g)			8077	
Tamis (mm)	Module Afnor	Masse des refus cumulés Ri(g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisats cumulés
50	48	0	0	100
40	47	0	0	100
31,5	46	0	0	100
25	45	937	11,6	88
20	44	1287	16	84
16	43	1683	21	79
12,5	42	2255	28	72
10	41	3020	37	63
8	40	3902	48	52
6,3	39	4700	58	42
5	38	4950	61	39
4	37	5961	74	26
3,15	36	6293	78	22
2,5	35	6467	80	20
2	34	6575	81	19
1,6	33	6684	83	17
1,25	32	6710	83	17
1	31	6890	85	15
0,8	30	6963	86	14
0,63	29	7072	88	12
0,5	28	7114	88	12
0,4	27	7234	90	10
0,315	26	7270	90	10
0,25	25	7331	91	9
0,2	24	7383	91	9
0,16	23	7420	92	8
0,125	22	7472	93	7
0,1	21	7485	93	7
0,08	20	7532	93	7



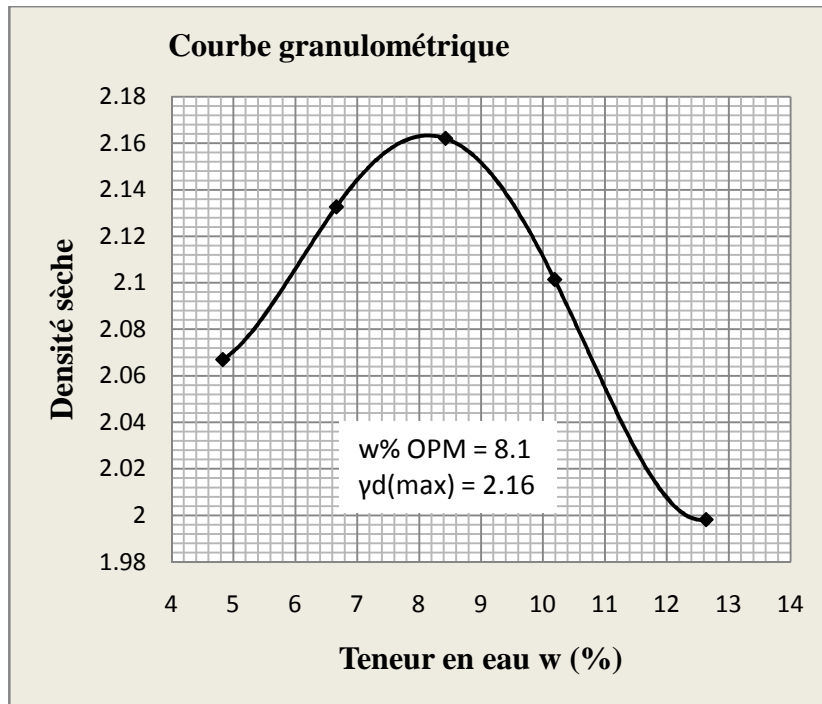
2. Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

	Limite de liquidité à la coupelle de casagrande - WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Mesure n°	1		2		3		4		5			
Nombre de coups	16		20		24		28		32		1	2
Numéro de Tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Masse Totale humide (g)	39,3	39,86	37,98	42,78	43,05	49,12	40,53	44,21	40,38	42,86	38,08	38,28
Masse Totale sèche (g)	36,46	37,33	35,38	39,52	40,14	44,88	38,04	41,1	37,97	39,61	37,07	37,23
Masse de la tare (g)	27,31	29,13	26,8	28,88	30,37	30,69	29,26	30,7	29,45	28,2	30,66	30,41
Masse d'eau (g)	2,84	2,53	2,6	3,26	2,91	4,24	2,49	3,11	2,41	3,25	1,01	1,05
Masse du sol sec (g)	9,15	8,2	8,58	10,64	9,77	14,19	8,78	10,4	8,52	11,41	6,41	6,82
Teneur en eau (%)	31,0	30,9	30,3	30,6	29,8	29,9	28,4	29,9	28,3	28,5	15,8	15,4
Teneur en eau moyenne	30,9		30,5		29,8		29,1		28,4		15,6	



3. Essai Proctor modifié (NF P 94-093)

Teneur en eau de moulage										
Numéro de tare	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse totale humide (g)	600	585	570	575	650	615	725	750	690	815
Masse totale sèche (g)	580	555	540	540	605	570	665	685	620	730
Masse de la tare (g)	50,5	45	52,5	52	51,5	54	58	65,5	55,5	69,5
Masse d'eau (g)	20	30	30	35	45	45	60	65	70	85
Masse du sol sec (g)	529,5	510	487,5	488	553,5	516	607	619,5	564,5	660,5
Teneur en eau (%)	3,8	5,9	6,2	7,2	8,1	8,7	9,9	10,5	12,4	12,9
Teneur en eau moyenne (%)	4,8		6,7		8,4		10,2		12,6	
Teneur en eau initiale du matériau	0,5									
Densité de moulage										
Masse du matériau soumis à l'essai (g)	6955		7010		6670		6580		6600	
% de l'eau de mouillage	4		6		8		10		12	
Eau de mouillage (g)	278		421		534		658		792	
Masse totale humide (g)	7600		7825		7970		7910		7775	
Masse du moule (g)	3080		3080		3080		3080		3080	
Masse nette humide (g)	4520		4745		4890		4830		4695	
Volume du moule (cm ³)	2086		2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2,17		2,27		2,34		2,32		2,25	
Densité sèche	2,07		2,13		2,16		2,10		2,00	



4. Essai CBR

