
Amélioration de sols fins au liant hydraulique routier

Yvette TANKPINOU⁽¹⁾, Nadia SAIYOURI⁽²⁾, Richard FABRE⁽³⁾, Victor GBAGUIDI⁽⁴⁾

¹Université de Bordeaux, (I2M), 351 cours de la Libération 33405 Talence Cedex, France mail : yvette-sedjro.tankpinou@u-bordeaux.fr

²Université de Bordeaux, (I2M), 351 cours de la Libération 33405 Talence Cedex, France mail : nadia.saiyouri@u-bordeaux.fr

³Université de Bordeaux, (I2M), 351 cours de la Libération 33405 Talence Cedex, France mail : richard.fabre@u-bordeaux.fr

⁴Université d'Abomey-Calavi (LEMA), 01 BP 526 Cotonou, Benin mail : gbagvict@yahoo.fr

RÉSUMÉ – La technique de traitement des sols est en plein essor et l'objectif est d'améliorer les caractéristiques géotechniques des sols en place pour répondre au mieux aux caractéristiques mécaniques attendues. Pour proposer des solutions conséquentes à une zone où se manifestent particulièrement des sols argileux gonflants, une caractérisation d'échantillons de sols a été réalisée sur les prélèvements effectués dans la zone. Trois types de sols argileux classés A4 et B2 ont été traités au liant hydraulique routier (LHR) à 3, 6 et 9%. Le sol classé A4 a connu un prétraitement à 2% de chaux hydraulique. L'objectif premier de l'étude est de comparer l'effet du liant hydraulique routier (LHR) sur ces différents types de sols, le second objectif étant un reclassement du sol étudié en un sol de caractéristiques géotechniques plus acceptables en tant que couches de forme et d'assises. L'effet du traitement au LHR a été mesuré au moyen de paramètres mécaniques que sont la résistance à la compression et la résistance à la traction. On note que les sols traités répondent différemment aux différents essais réalisés et que le sol réputé inapte au traitement peut dans certaines conditions présenter des performances mécaniques acceptables.

ABSTRACT – Soil treatment is booming and the goal is to improve the geotechnical characteristics of the soils in place to best meet the expected mechanical characteristics. To provide consistent solutions to a zone where particularly manifest swelling of clayey soils, characterization of soil samples was carried out on samples taken in the area. Three clay soils classified A4 and B2 were treated to road hydraulic binder (LHR) at 3, 6 and 9%. The soil classified A4 was a pretreatment to 2% of hydraulic lime. The primary objective of the study is to compare the effect of road hydraulic binder (LHR) on these different types of soils, the second goal is a reclassification of the soil studied in a soil more acceptable geotechnical characteristics as sub-grade and sub-base course. The effect of treatment LHR was measured by means of mechanical parameters such as the compressive strength and tensile strength. Note that the treated soils respond differently to various tests with deemed unfit for processing ground can provide acceptable mechanical performance.

MOTS-CLÉS : sol argileux, sable, traitement, LHR, compression, traction.

KEY WORDS: clayey soils, sand, treatment, LHR, compression, tensile

1. Introduction

Il n'y a pas de route sans disponibilité et mise en œuvre de matériaux ; cette mise en œuvre passe par le compactage qui est une opération indispensable en technologie routière et dont la réalisation dans le cas des sols fins est souvent rendue difficile par leur forte humidité et/ou leur forte argilosité [LCP 92]. Les sols fins, à l'état naturel, sont souvent à mettre au rebut et substitués par des matériaux présentant de meilleures caractéristiques mécaniques [MAU 10]. Cependant, de nos jours le contexte de développement durable, les enjeux économiques et environnementaux incitent, lors des travaux de terrassement, à valoriser les matériaux locaux (situés dans l'emprise même des projets d'infrastructures) présentant parfois des caractéristiques mécaniques inadéquates pour être employés [ABD 09]. Le traitement des sols au liant est une solution qui se développe de plus en plus et permet de modifier le comportement mécanique et la maniabilité des sols.

Dans le cadre du projet d'aménagement du tronçon Ouègbo-Toffo-Lalo difficile d'accès en saison pluvieuse (présence de sols fins très plastiques), des prélèvements ont été réalisés pour être traités à la chaux, et/ou au liant hydraulique routier afin d'apprécier les modifications apportées et en tirer des solutions qui permettront une meilleure tenue des ouvrages routiers à aménager.

2. Matériels et méthodes

2.1. Provenance des sols naturels

La zone d'étude est délimitée par les longitudes 1°5 et 2°1 Est et les latitudes 6°2 et 7°5 Nord. Du point de vue géologique, la zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire côtier partie intégrante de la province géologique appelée «la Baie du Dahomey» (Figure 1). L'argile (Ar) est prélevée dans la dépression de la Lama (site du projet routier), une formation du Paléocène et de l'Eocène. Le sable silteux jaunâtre (SS) est pris dans les dépôts littoraux et le sable argileux (SA) qui est une formation du continental terminal encore appelé «terre de barre» est pris sur le plateau de Bopa.

Trois sols ont été étudiés. Visuellement, il s'agit d'une argile noirâtre (**Ar**), d'un sable silteux jaunâtre (**SS**) et d'un sable argileux rougeâtre (**SA**). La figure 2 présente les sites de prélèvement.

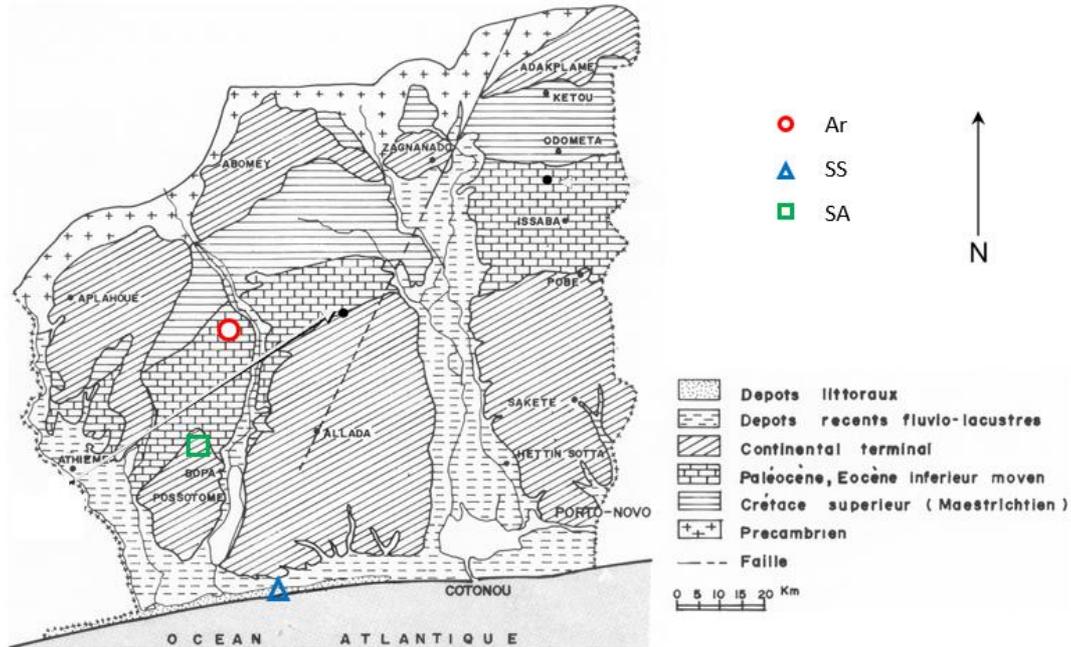


Figure 1 : Carte géologique et de localisation des sites de prélèvements (d'après [YAL 08])



Figure 2 : Photos des sites de prélèvements

2.2. Méthodes

2.2.1. Caractérisation des sols naturels

Les essais d'identification simple suivants ont été réalisés suivant les normes AFNOR: teneur en eau (NF P 94-050), analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056), analyse granulométrique par sédimentométrie (NF P 94-057), limites d'Atterberg (NF P 94-051), essai au bleu de méthylène (NF P 94-068). La classification GTR a été adoptée (NF P 11-300). Pour l'aspect mécanique, les caractéristiques de compactage Proctor ont été déterminées à partir des essais Proctor normal (PN) et Proctor modifié (PM) suivant la norme NFP 94-093. La détermination des indices CBR après immersion a été faite suivant la norme NF P 94-078.

Les paramètres de résistances mécaniques : la résistance à la compression simple, la résistance à la traction indirecte et le module (à partir des essais de compression) ont été déterminés respectivement suivant les normes NF EN 13286-41 et NF EN 13286-42, NF EN 13286-43.

2.2.2. Méthodes de traitement

Les éprouvettes ont été traitées au liant hydraulique routier à 3, 6 et 9%. L'argile a connu un prétraitement à 2% de chaux hydraulique. Les éprouvettes ont été compactées suivant la norme NF EN 13286-50 dans des moules cylindriques d'élancement 2. Le compactage a été fait à 98,5% de la densité sèche OPN pour les résistances à la compression et à 96% pour les résistances à la traction.

Pour maintenir la teneur en eau constante, les éprouvettes traitées ont été conservées hermétiquement à une température de 20°C; Ainsi conditionnées, elles ont été écrasées respectivement après des temps de cure de 7, 28, 60 et 90 jours.

L'effet du traitement a été mesuré par le biais de la résistance à la compression simple (NF EN 13286-41) et de la résistance en traction (NF EN 13286-42).

3. Résultats

3.1. Caractérisation des sols naturels

Les caractéristiques de granulométrie et d'argilosité sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Paramètres d'identification simple des sols naturels

Caractéristiques	Ar	SS	SA
D_{max} (mm)	2	2	2
D (mm)	0,002	0,315	0,315
Fraction inférieure à 80 μ m (%)	97,26	4,81	11,61
Fraction inférieure à 2 μ m (%)	87,05	1,03	3,56
Argilosité	VBS	12	0,28
	IP	58	-
D_{max} : dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol (selon NF P11-300)			
D : dimension maximale de tamis pour laquelle le passant est compris entre 80 et 90%			

Selon la classification GTR (Figure 3), le sol **Ar** est de classe **A4** donc est un sol fin très plastique. Les sols **SS** et **SA** sont des sables argileux ou peu argileux de classe B2 ; la différence est surtout caractérisée par la VBS et l'IP tel que mentionné dans le tableau 1.

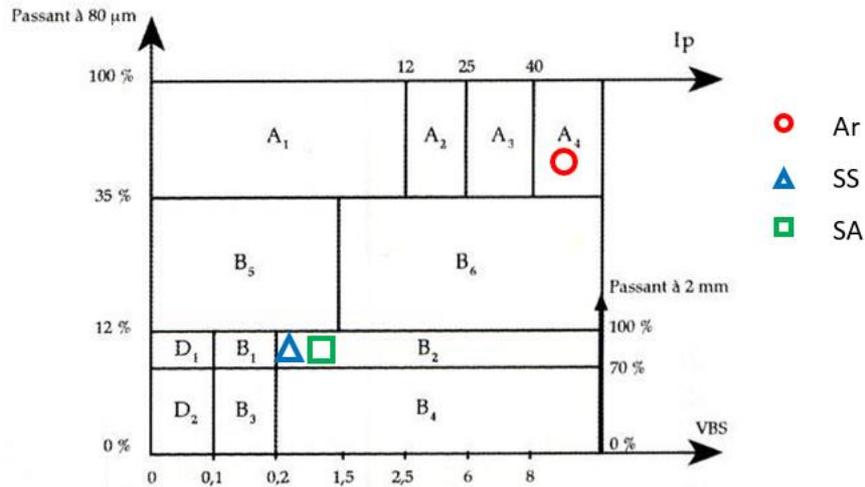


Figure 3 : Classification GTR des trois sols (d'après [LCP 92])

Les caractéristiques mécaniques se trouvent résumées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques mécaniques des sols naturels

Caractéristiques	Ar	SS	SA
Densité sèche maximale OPN ($\rho_{d_{OPN}}$)	1,350	1,832	1,930
Teneur en eau optimale (w_{OPN} en %)	30,60	9,0	14,30
Résistance à la compression simple (R_c en MPa)	0,155	0,194	0,231
Résistance à la traction indirecte (R_{it} en MPa)	0,073	0,061	0,087
Densité sèche maximale OPM ($\rho_{d_{OPM}}$)	1,520	1,892	2,070
Teneur en eau optimale (w_{OPM} en %)	25	8,90	10,10
Indice CBR à 95% OPM après 96h d'imbibition	4,6	34	20
Indice CBR à 98,5% OPM après 96h d'imbibition	5,4	60	45

On note que le sol **SS**, le moins argileux, admet la plus faible résistance à la traction et cependant le CBR le plus élevé par rapport à **SA** qui admet la plus forte densité sèche. Pour ce dernier la valeur plus faible du CBR peut s'expliquer par une plus forte sensibilité à l'eau pendant les 96h d'imbibition.

3.2. Résultats de traitements des sols

Les références Proctor (teneur en eau optimale w_{opt} et densité sèche maximale $\rho_{d_{max}}$) déterminées sur les sols naturels ainsi que ceux traités se présentent pour les trois types de sols sur les figures 4 à 6 suivantes.

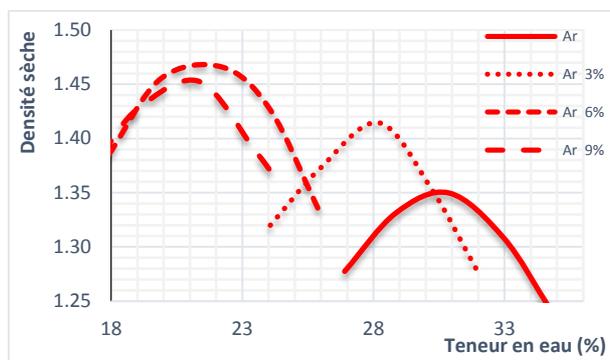


Figure 4: Courbes Proctor de l'argile (Ar) avant et après traitement

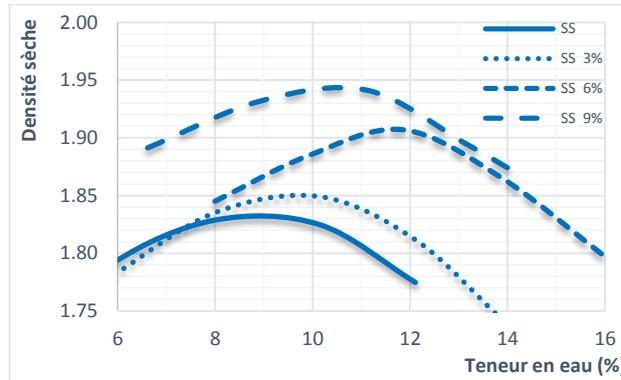


Figure 5 : Courbes Proctor du sable silteux (SS) avant et après traitement

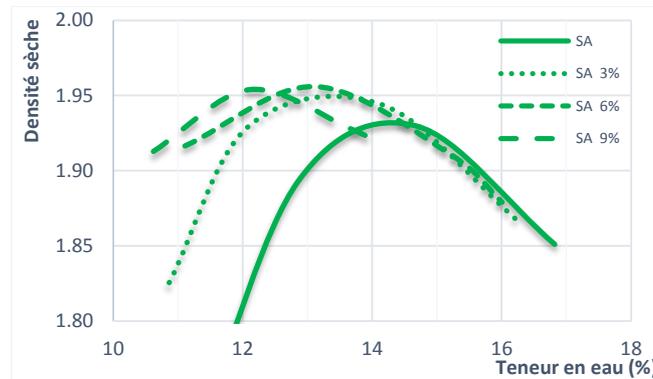


Figure 6 : Courbes Proctor du sable argileux (SA) avant et après traitement

Des différences de comportement des trois sols après traitement sont observées, l'optimum Proctor se plaçant différemment par rapport à l'optimum Proctor du sol naturel dans chacun des cas : **Ar** et **SA** manifestent une augmentation de masse volumique sèche optimale et une diminution de la teneur en eau optimale à 3 et 6% de traitement; Pour **Ar**, à 9% on note une quasi stabilité des résultats par rapport à 6% ; pour **SA**, on note une légère baisse de la teneur en eau optimale. Pour **SS**, si l'augmentation de masse volumique sèche optimale est évidente, on note plutôt une faible évolution à la hausse de la teneur en eau optimale.

L'évolution de l'indice CBR après 96h d'immersion à 95 % et 98,5% de l'Optimum Proctor Modifié en fonction de la teneur en LHR est représentée sur la Figure 7. On note pratiquement la même allure pour les courbes des indices à 95 % et 98,5% de l'OPM.

Pour **Ar**, sol argileux très plastique, le CBR passe de 4 pour le sol non traité à 10 pour le sol traité à 9%. Pour **SS** et **SA**, on note une évolution considérable.

La Figure 8 représente l'évolution de la résistance à la compression simple des trois sols avant et après traitement aux différents teneurs.

Les résistances du sol argileux **Ar** évoluent lentement pour atteindre une valeur de 1MPa à 9% et après 60 jours. Aux teneurs en liants de 6 et 9%, **SS** présente de meilleures résistances. Pour les sols **SS** et **SA**, et les traitements à 6 et 9%, le critère de traficabilité (limite de 1MPa) est satisfait dès 7 jours ; pour le traitement à 3%, ce critère est satisfait à 28 jours pour le **SA** et à 60 jours pour le **SS**. Pour **Ar**, ce critère n'est satisfait qu'après 80 jours pour 9% de LHR.

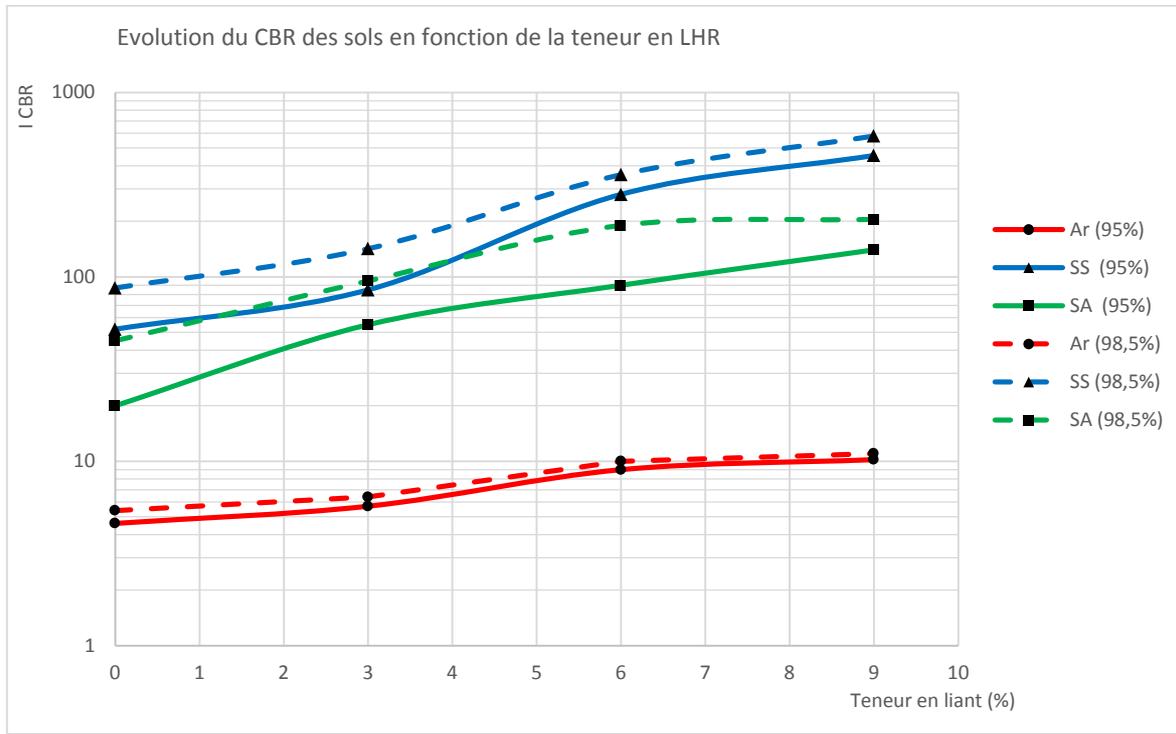


Figure 7 : Evolution du CBR des sols en fonction de la teneur en LHR

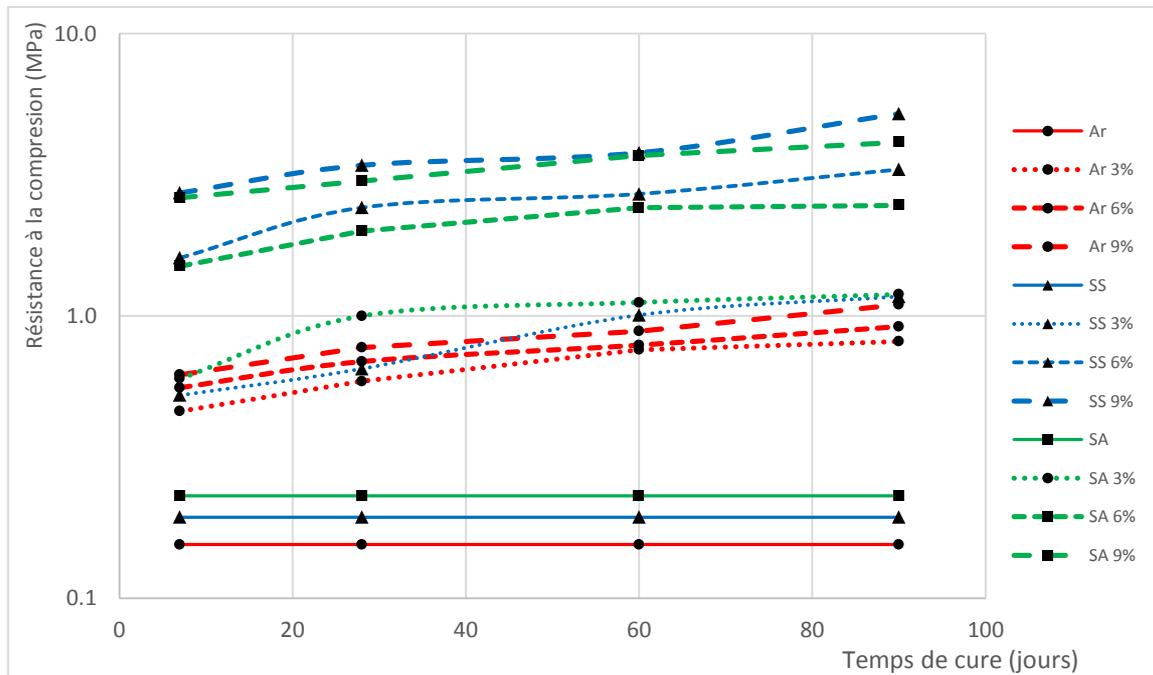


Figure 8 : Evolution de la résistance à la compression en fonction du temps de cure

L'évolution de la résistance à la traction des sols en fonction du temps de cure, avant et après traitement, est présentée à la Figure 9. On note que **SS** qui admettait la plus faible résistance à la traction avant traitement, admet les résistances les plus élevées après traitement.

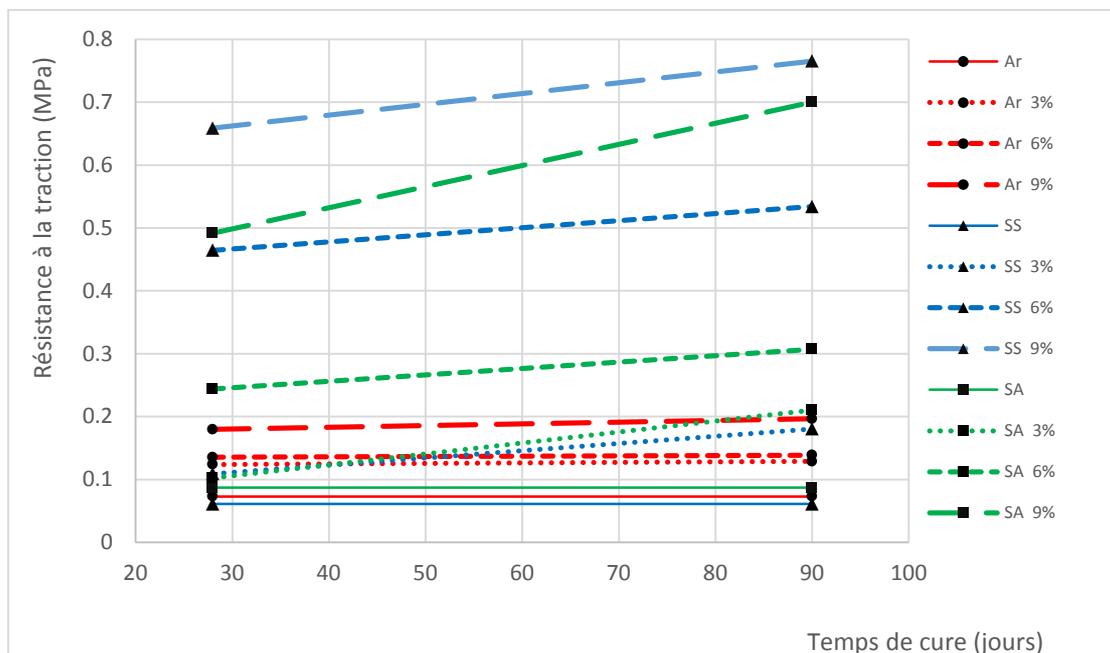


Figure 9 : Evolution de la résistance en traction des sols en fonction du temps de cure

4. Discussions

Suivant le GTS 2000 - remblais et couches de forme [LCP 00], figurent sur l'abaque présenté à la Figure 10, les zones 1 à 5 correspondant aux classes de performances mécaniques attribuées aux matériaux traités. Les niveaux de performance sont croissants de la zone 5 à 1. Un classement en zone 5 ne permet pas de valider une réutilisation du matériau, les performances mécaniques étant alors considérées comme trop faibles.

Les couples (R_t ; E) obtenus à 90 jours de cure des sols traités sont reportés sur l'abaque (Figure 10). Ne figurent pas les couples (R_t ; E) de l'argile (**Ar**) car les valeurs du module obtenues sont toutes inférieures à 10^3 MPa.

Pour **SS**, on note le passage rapide de la zone 5 (traitement à 3%) à la zone 3 (traitement à 6%), qui atteste d'une capacité du matériau traité à être réutilisé en assise de chaussée. A 9% de LHR, le matériau traité reste toujours dans la zone 3.

Pour **SA**, le passage en zone 3 n'est effectif que pour le traitement à 9% de LHR ; cependant pour les deux teneurs plus faibles, les sols traités appartiennent à la zone 4.

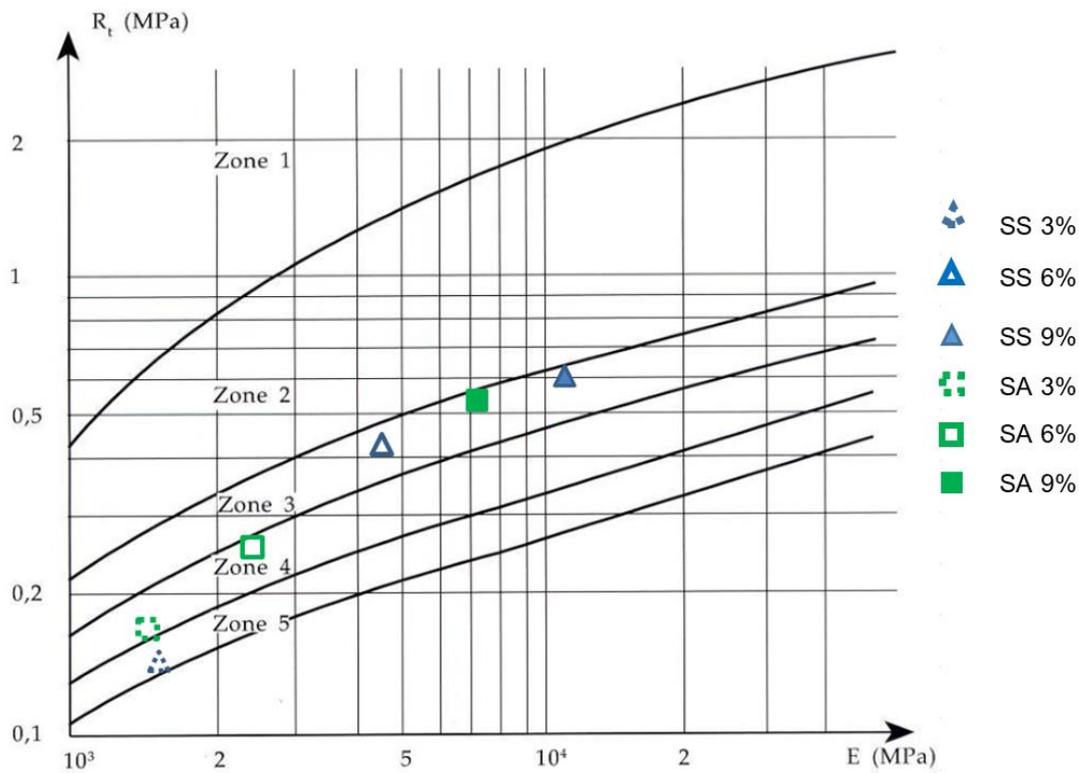


Figure 10: Classement des matériaux traités selon leurs caractéristiques mécaniques déterminées sur éprouvettes à 90 jours (d'après LCPC SETRA, 2000)

5. Conclusions

Trois sols classés A4 et B2 ont été traités au LHR. Les sols traités ont répondu différemment aux essais réalisés. Le sol argileux (Ar) est un sol argileux très plastique de classe A4 réputé inapte au traitement ; son traitement au LHR dans les conditions de références Proctor Normal a permis néanmoins d'améliorer légèrement ses caractéristiques mécaniques (CBR passant de 4 pour le sol non traité à 10 pour le sol traité à 9%, Rc atteignant 1MPa pour un traitement à 9% à 90 jours).

Le sable silteux (SS) et le sable argileux (SA) de classe B2 ont vu leurs caractéristiques mécaniques très améliorées et sont acceptables en tant que matériaux de couche de forme ou d'assises de chaussée.

Bibliographie

- [ABD 09] ABDJO Joseph (2009). Liants hydrauliques routiers. Techniques de l'Ingénieur.
- [LCP 92] LCPC-SETRA (1992). Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR), Fascicules I et II.
- [LCP 00] LCPC-SETRA (2000). Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Terrassement et couche de forme (GTS).
- [MAU 10] MAUBEC Nicolas (2010). Approche multi-échelle du traitement des sols à la chaux - Etudes des interactions avec les argiles. Thèse de doctorat, Université de Nantes.
- [YAL 08] YALO N., ADJANOHOUN A., ADISSIN GLODJI L., KAKI C. (2008). Formations géologiques de la glauconie du bassin sédimentaire côtier du Bénin : possibilités d'utilisation pour la fertilisation des sols côtiers, Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin Numéro 62.