

REPUBLIQUE DU SENEGAL

UN PEUPLE, UN BUT, UNE FOI



UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT DU GENIE CIVIL

GC.0087

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION EN GENIE CIVIL

**TITRE : ETUDE DU TRAITEMENT DES MATERIAUX
DE CORPS DE CHAUSSEE AUX PRODUITS
CONSOLID**

AUTEUR : Jérémy Donatien Campal

DIRECTEUR INTERNE : Ismaïla Guèye

DIRECTEUR EXTERNE : Amadou Sylla Nam

Juillet 2002



DEDICACES

A mon père et à ma mère

A mes sœurs Annette et Lydie

A mes cousines Mamy, Miss, Laure et Irène

A mon cousin Paul

A

Donatien et Madeleine Campal et à leurs enfants

Pascal et Elisabeth Campal et à leurs enfants

Albert et Diokine Nadiack et à leurs enfants

Thomas et Edwige Bampoky et à leurs enfants

Valentin et Marie-Rose Coly et à leurs enfants

Aux familles Campal et Malack

A

René, Mame Ali, Bass, Tapha Sarr, Nguirane et à tous les autres « marseillais »

la promotion DUT génie civil 1998-1999 de l'ESP

la promotion DIC génie civil – génie mécanique 2000-2002 de l'ESP

Aux membres du « Kiosque » et aux « Hé thiopiens ».

REMERCIEMENTS

Ce rapport, a été réalisé avec le concours de personnes que nous tenons à remercier de tout cœur.

MERCI à :

- Monsieur Ismaïla Guèye, professeur de Mécanique des sols à l'ESP,
- Monsieur Amadou Sylla Nam, Directeur Général de GEC-IMPEX,

pour le soutien dont ils ont fait montre à notre égard,

- Messieurs Cheikh Sarr, Madiaw Guèye, Djibril Sow et Ngari Sy du laboratoire de Mécanique des sols de l'ESP,

pour l'aide précieuse qu'ils ont apportée à l'exécution des essais de cette étude,

- L'entreprise Jean Lefebvre Sénégal à travers messieurs Thété et Badiane,

pour l'aide fournie dans l'acquisition des matériaux d'essai,

- l'ensemble du corps professoral de l'ESP.

SOMMAIRE

L'étude faisant l'objet de ce rapport montre un moyen de valorisation des matériaux locaux et une alternative à l'épuisement des ressources de certaines carrières. Elle s'articule précisément sur le traitement d'un sol de mauvaise qualité aux produits consolid pour permettre son utilisation en corps de chaussée.

Ce rapport comprend d'abord quelques généralités sur les matériaux de corps de chaussée, surtout leur comportement et les procédés de modifications de leurs caractéristiques. Une présentation globale des produits consolid est ensuite faite pour une meilleure connaissance de leurs performances et de leurs modes d'utilisation. Enfin, une expérimentation est réalisée sur un sol par la mesure de ses caractéristiques à l'état naturel suivie de son traitement aux produits consolid.

Il s'agit donc de voir au terme de cette étude, si les résultats obtenus justifient l'utilisation du produit comme matériau de corps de chaussée et, au demeurant, proposer un dimensionnement pour une éventuelle application pratique.

DEDICACES	I
REMERCIEMENTS	II
SOMMAIRE	III
TABLE DES MATIERES	IV

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I- GENERALITES SUR LES MATERIAUX DE CORPS DE CHAUSSEE	4
CHAPITRE II- PRESENTATION DU SYSTEME CONSOLID	7
II-1/ HISTORIQUE	7
II-2/ DESCRIPTION DES PRODUITS	9
I-2-1/ Le consolid 444 (C444)	9
II-2-2/ Le conservex (CX)	10
II-2-3/ Le solidry (SD)	11
II-3/ DOMAINES D'APPLICATION ET USAGES ESCOMPTES	11
II-3-1/ Domaines d'application	11
II-3-1.1/ Chaussées	12
II-3-1.2/ Fabrication d'agglomérés en terre	12
II-3-1-3/ Maîtrise des problèmes de crues	12
II-3-1.4/ Autres	13
II-3-2/ Cas d'utilisation	13
II-3-3/ Limites d'utilisation	14

II-4-1/ Matériel de construction	15
II-4-2/ Méthodologie de construction	16
II-4-2.1/ Malaxage in situ	16
II-4-2.2/ Prétraitement ou malaxage en centrale	17
II-4-2.3/ Traitement au consolid 444	18
II-4-2.4/ Traitement au conservex	19
II-4-2.5/ Traitement au solidry	21
II-5/ EXEMPLES D'APPLICATIONS PRATIQUES EN CONSTRUCTION	
ROUTIERE	22
II-5-1/ Suisse (1996)	23
II-5-2/ Italie (1996)	25
II-5-3/ Pakistan (1996/1998)	26
II-5-4/ Autres	27
CHAPITRE III- EXPERIMENTATIONS SUR UN SOL AU SENEGAL :	
CAS DU SABLE ARGILEUX DE DIAMNIADIO	28
III-1/ IDENTIFICATION DES MATERIAUX	28
III-1-1/ Latérite de la carrière de Dakhar Mbaye	29
III-1-1.1/ Granulométrie	29
III-1-1.2/ Poids spécifique	30
III-1-1.3/ Limites d'Atterberg	30
III-1-1.4/ Densité maximale et teneur en eau optimale de compactage	31
III-1-1.5/ CBR	31
III-1-1.6/ Exploitation des résultats	32
III-1-2/ Sable argileux de Diamniadio	34
III-2/ TRAITEMENT	38
III-2-1/ Amélioration mécanique	39
III-2-2/ Traitement du mélange de 70% de sable argileux de Diamniadio et de 30% de latérite de la carrière de Dakhar Mbaye aux produits consolid	40
III-2-3/ Analyse et interprétation des résultats	44

III-2-3/ Analyse et interprétation des résultats	44
III-2-3.1/ Proctor modifié	44
III-2-3.2/ CBR	46
III-2-3.3/ Succion capillaire	46
III-2-4/ Conclusion	48
III-3/ PROPOSITION DE DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE AVEC LE MELANGE 70A30LCSD2	48
III-3-1/ Composition des couches de chaussée	49
III-3-2/ Dimensionnement des épaisseurs des couches de chaussée	50
III-3-2.1/ Cas d'une chaussée revêtue	50
III-3-2.2/ Cas d'une route en terre	53
III-4/ ETUDE FINANCIERE DE LA SOLUTION PROPOSEE	55
III-4-1/ Devis estimatif du corps de chaussée traité selon la formulation 70A30LCSD2	55
III-4-2/ Devis estimatif du corps de chaussée réalisé en latérite	57
III-4-3/ Devis estimatif du corps de chaussée traité au ciment	58
 CONCLUSION	 60
 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
 LISTE DES ABREVIATIONS	
 LISTE DES ANNEXES	
 LISTE DES FIGURES	
 LISTE DES TABLEAUX	

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le gouvernement du Sénégal essaie de relever le défi pour la conception d'infrastructures proportionnées, appropriées et de qualité pour satisfaire les demandes des populations. Bien que des progrès commencent à être accomplis, des contraintes significatives liées à la nature des programmes appliqués existent et menacent toujours les chances d'atteindre ce but. Ce défi est énorme surtout quand il s'agit de trouver des solutions rentables, efficaces, soutenables et favorables à l'environnement du pays. La satisfaction des demandes spécifiques au développement social suppose que le développement des infrastructures suive la croissance de la population, constituant ainsi une menace pour les ressources qui risquent de s'épuiser. Les corps de chaussée sont souvent constitués de graves latéritiques dont la qualité et les performances sont réduites car elles s'altèrent rapidement sous l'effet des conditions climatiques sévères. La quasi totalité de ces matériaux ne répondent pas aux spécifications sans traitement ; la stabilisation au ciment est souvent de rigueur.

En fait, la plupart des pays en voie de développement se fondent principalement sur le système de transport routier pour le mouvement en bloc des marchandises et des personnes. Les dépenses pour la construction et la réhabilitation des routes sont énormes pour ces gouvernements. Le retard accusé dans les infrastructures rurale et urbaine, couplé aux ressources limitées et au coût élevé de l'entretien des équipements existants les engagent dans une voie de développement ralenti. Une bonne base d'infrastructures est cruciale pour la promotion d'investissements, le

développement des affaires nationales et internationales et l'amélioration du bien-être général des populations.

La satisfaction de ces exigences est devenue une priorité politique pour ces gouvernements qui s'investissent dans l'objectif de trouver des solutions comparativement plus viables pour relever les défis. La recherche s'oriente vers un système qui a l'effet dual d'augmenter l'efficacité des voiries actuelles par la réadaptation et l'entretien efficaces assurant une réduction des coûts de construction, tout en maintenant un niveau structural suffisant afin de supporter le volume, le poids et le type de trafic projetés pour la route. C'est dans cette perspective que les produits consolid (le terme « système consolid » est également employé), sont utilisés pour le traitement des matériaux de corps de chaussées à travers le monde.

Il serait intéressant de voir les effets de ces additifs sur les sols au Sénégal afin de favoriser l'adéquation de ces derniers à la construction routière, surtout aux corps de chaussées. Pour se faire, une étude expérimentale est réalisée sur un sol de faibles performances. La méthodologie utilisée consiste d'abord à déterminer les propriétés du sol avant et après traitement, pour ensuite voir si les améliorations obtenues satisfont aux critères de performances exigés par les normes traditionnelles en construction routière.

La suite de ce rapport comprend d'abord des généralités sur les matériaux de corps de chaussée, surtout leur comportement et les procédés de modifications de leurs caractéristiques. Ensuite une présentation des produits consolid est faite, montrant

leur origine, leurs modes d'action et d'utilisation et quelques exemples d'applications pratiques réalisées à travers le monde. Enfin, une expérimentation est réalisée sur un sol par la mesure de ses caractéristiques à l'état naturel suivie de son traitement aux produits consolid.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES MATERIAUX DE CORPS DE CHAUSSEE

I- GENERALITES SUR LES MATERIAUX DE CORPS DE CHAUSSEE

Le sol qui constitue une route ou toute autre structure devant supporter des charges a la possibilité de se densifier par un processus de compactage ; il s'agit d'une réorganisation des particules qui le composent de sorte qu'elles restent étroitement liées entre elles avec le moins d'espace possible. La densification du sol par compactage se fait au meilleur des cas avec l'application préalable d'une pression de forte intensité dépendant du type de sol et à une teneur en eau optimale. Dans cet état, les grains du sol se couvrent d'une fine pellicule d'eau qui les lubrifie et favorise leur réorganisation. Ce stade de compaction idéal pour supporter les charges de trafic peut changer en fonction des conditions d'exposition auxquelles la route sera soumise.

En effet, sur une route en matériaux non traités, il est communément observé les deux situations suivantes : l'une se présente lorsque le sol du corps de chaussée comporte un excès d'eau en raison par exemple de facteurs climatiques comme la pluie. Dans ce cas, les particules ne peuvent se lier entre elles à cause de l'eau qui les lubrifie excessivement et les sépare, rompant le stade de compaction antécédent et formant de la boue dans le cas des argiles avec tous les désordres structurels qui en découlent. L'autre situation se produit quand la route perd son humidité, par exemple en période de forte chaleur. Le sol perd sa compacité, les particules se désagrègent par frottements les unes aux autres et il se forme de la poussière au passage des véhicules, ce qui conduit à la détérioration de la route.

Avec le temps, l'état compact du corps de chaussée est en régression ; le matériau a une résistance plus faible et, à un moment donné ne répondra plus aux critères exigés pour son utilisation ; d'où la nécessité de son renforcement.

Les propriétés que l'on demande aux matériaux de corps de chaussée sont une portance élevée, la résistance à l'attrition, l'insensibilité à l'eau. Il doit exister en outre une progression convenable dans la rigidité des différentes couches.

Les matériaux sont utilisés en fonction de leurs propriétés soit à l'état naturel, soit améliorés mécaniquement par mélange avec d'autres sols ou modification de la granulométrie, soit traités par adjonction d'un produit. Dans ce dernier cas, les résultats suivants sont le plus souvent attendus :

- Amélioration de la portance et des caractéristiques mécaniques,
- Homogénéisation des caractéristiques,
- Imperméabilisation ou diminution de la sensibilité à l'eau,
- Diminution de la teneur en eau qui permet la mise en œuvre de matériaux détremés,
- La durabilité (résistance à la variation de n'importe laquelle des propriétés ci-dessus).

Les traitements les plus courants en Afrique tropicale sont ceux aux liants hydrauliques (ciment), aux liants aériens et aux liants bitumineux ; à ces derniers s'ajoutent les matériaux aux propriétés pouzzolaniques, qui ne sont pas des liants mais qui ajoutés au sol, augmentent sa cohésion et donc sa résistance. Il est

important de distinguer les deux (2) types de traitement que sont l'amélioration et la stabilisation :

- L'amélioration d'un matériau de corps de chaussée consiste à lui ajouter un produit, généralement à faible dose, en vue de modifier les qualités sans pour autant changer profondément la rigidité.
- La stabilisation d'un matériau de corps de chaussée entraîne quant à elle une augmentation importante de la rigidité.

Le comportement sous charge constitue la principale différence entre ces traitements, les sols pouvant dans le premier cas subir de plus grandes déformations avant d'atteindre la rupture.

CHAPITRE II

PRESENTATION DU SYSTEME CONSOLID

II- PRESENTATION DU SYSTEME CONSOLID

II-1/ HISTORIQUE

L'origine du système consolid remonte aux années 60. Le **Dr. Gunther A. Scherr** en Suisse produit une émulsion d'asphalte pour les revêtements de chaussées. C'est ainsi qu'il fut amené à l'appliquer sur des routes dont le corps de chaussée était constitué par des sols cohérents (argiles). Le comportement plastique de ces sols en présence d'eau et les désordres structurels qui en découlaient suggéraient de recourir à des méthodes de traitement. Les essais effectués dans ce sens, avec les produits existants à l'époque ne donnèrent pas les résultats auxquels il s'attendait. Il se lança alors dans des années de recherches et d'expérimentation avec comme but de trouver sa propre gamme de produits. Elles aboutirent à la découverte du système consolid dont la première application pratique se fit en 1968 en Italie.

L'intérêt de ce produit va au-delà de ses performances techniques ; en réalité, il s'intègre parfaitement à la promotion et à la bonne gestion des matériaux locaux. Les sols dont les propriétés satisfont parfaitement aux critères de construction sont souvent rares et sujets à l'épuisement. C'est pourquoi la possibilité d'utiliser les sols in-situ et même tous types de sols, quels qu'en soient les caractéristiques physiques et mécaniques en construction et réhabilitation routière et dans tous autres travaux terrestres constitue un facteur favorisant la protection et la bonne gestion de ces ressources. Cela permet par exemple une réduction des coûts liés au transport des matériaux de construction qui sont souvent collectés à des endroits plus ou moins éloignés du site.

matériaux de construction qui sont souvent collectés à des endroits plus ou moins éloignés du site.

Le traitement aux produits consolid suppose l'adjonction au sol de deux (2) des trois (3) produits que sont le **consolid 444**, le **conservex** et le **solidry** selon les combinaisons suivantes :

Consolid 444 + conservex

Consolid 444 + solidry

Les essais ont été réalisés dans les années 60 avec le consolid 444 et le conservex ; le solidry n'est venu s'intégrer au système que dans les années 80.

Ces additifs, mélangés au sol, réduisent la tension superficielle de l'eau autour des particules de sorte que le film d'eau entourant le grain est dispersé, permettant le rapprochement des particules du sol. Il se produit par conséquent une densification du sol surtout après compactage. Il faut noter qu'il ne se produit pas de réaction chimique entre les produits du système consolid et les particules du sol ; ils agissent plutôt à la surface des particules dont ils augmentent la cohésion. C'est pour cette raison que les produits consolid sont qualifiés de catalyseurs.

Pour comprendre ce qui se passe réellement dans le sol traité au système consolid, il convient au préalable de faire une description des produits chimiques qui le constituent.

II-2/ DESCRIPTION DES PRODUITS

Les produits consolid sont donc au nombre de trois (3) et ont des rôles plus ou moins différents les uns des autres.

II-2-1/ Le consolid 444 (C444)

Le consolid 444 est une émulsion aqueuse qui, diluée convenablement dans l'eau, est ajoutée au sol pour le consolider. C'est lui qui permet la réduction de la tension superficielle de l'eau entourant les particules de sol. Le C444 n'est pas un liant mais améliore certaines propriétés du sol par l'effet d'insensibilité à l'eau qu'il produit et, surtout, la résistance du sol qu'il améliore. Il est un peu acide (pH = 6), a une odeur d'ammonium, n'est pas toxique et est inflammable à haute température. Son action est continue et irréversible, surtout après que le sol se soit asséché. Le traitement au C444 a les effets suivants sur le sol :

- Facilite la densification du fait de la diminution des poches d'eau ;
- Réduit les remontées capillaires ;
- Réduit la perméabilité ;
- Réduit la teneur en eau et augmente la densité sèche à l'état compact. Dans le cas où les sols non traité et traité présentent les mêmes valeurs de teneur en eau et de densité sèche, les vides sont beaucoup plus importants dans le sol traité qui offre de meilleures possibilités de resserrement des grains ;
- Permet la continuation du processus de densification au fil du temps ;
- Réduit la sensibilité à l'eau ;

- Augmente la valeur de densité sèche maximale par compactage, même si cela se fait à une teneur en eau légèrement plus élevée ;
- Réduit l'infiltration des eaux de surface ;
- Réduit la plasticité et le gonflement.

II-2-2/ Le conservex (CX)

Le conservex est une émulsion de bitume qui, après dilution dans de l'eau acide, est mélangée à la partie supérieure du corps de chaussée traité au préalable au consolid 444. Il empêche la formation des poussières dues à l'usure de la surface lorsque le sol est sec ou les glissements lorsqu'il est humide et permet de stabiliser le sol. Les particules du conservex adhèrent à celles du sol traité au consolid 444 et bouchent les pores. Par conséquent, la perméabilité et la dispersion des éléments de surface sont réduites, et le sol est densifié. Le conservex est un produit modérément basique (pH=9), a une odeur d'ammonium, n'est pas toxique et peut être stocké dans des conteneurs métalliques à l'ombre.

Il peut avoir des effets inverses, par exemple réduire la résistance du sol, lorsqu'il est utilisé à des taux excessifs, c'est-à-dire supérieurs à 1% du poids du sol (soit environ 20 litres/m³ de sol).

Le C444 et le CX ne sont pas inflammable à des températures inférieures à 100°C et ne requièrent pas de précaution contraignante pour leur stockage.

II-2-3/ Le solidry (SD)

Le solidry est une poudre sèche, hydrophobe. Elle contient des agents actifs qui ont un effet synergique. Comme le conservex, le solidry est mélangé à la partie supérieure du corps de chaussée traité au préalable au consolid444 pour rendre le sol davantage insensible à l'eau et contribuer à sa densification. Les particules de solidry adhèrent à celles du sol traité au consolid 444 et bouchent les vides intergranulaires ; il se produit alors une réduction de la capillarité du sol et une augmentation de la cohésion entre les grains du sol.

Ces trois produits ont une particularité commune, mais à des degrés différents : ils confèrent au sol un comportement hydrophobe. Cet aspect est d'un intérêt certain surtout pour les routes dans la mesure où l'eau en constitue la principale source de problèmes.

II-3/ DOMAINES D'APPLICATION ET USAGES ESCOMPTES

II-3-1/ Domaines d'application

Les produits consolid, par leur action sur le sol et les modifications de caractéristiques et propriétés auxquelles ils peuvent conduire, trouvent une diversité de domaines où leur emploi est effectif ou envisageable, principalement dans le génie civil. Il s'agit entre autres des chaussées, de la fabrication d'agglomérés, de la maîtrise des problèmes d'érosion, etc....

II-3-1.1/ Chaussées

- Tous types de routes à trafic poids lourds,
- Tous types de routes à faible trafic : pistes agricoles, forestières, rurales, voies urbaines,...
- Accotements stabilisés,
- Talus de voies ferrées,
- Parkings,
- Voies de quartiers résidentiels,
- Réhabilitations routières : routes usées, chaussées en base asphalte,
- Aéroports.

II-3-1.2/ Fabrication d'agglomérés en terre

- Construction de logements économiques,
- Base pour sols à problèmes (gonflants, à faible résistance, ...).

II-3-1.3/ Maîtrise des problèmes de crues

- talus,
- canaux,
- dépotoirs.

II-3-1.4/ Autres

- barrages,
- aires de jeux,
- terrains de sports,
- dépotoirs d'ordures,
- routes souterraines.

II-3-2/ Cas d'utilisation

Avec tous les domaines cités, l'utilisation des produits consolid est envisageable lorsque les objectifs suivants seront visés :

- Offrir une base ou une fondation non érodable avec d'importants effets de pont sous n'importe quel type de couche porteuse avec la possibilité de réduire considérablement son épaisseur, parce que la couche traitée supporte mieux les effets de pont,
- Améliorer les matériaux par les actions suivantes :
 - Augmentation du CBR,
 - diminution de l'indice de plasticité,
 - diminution de la perméabilité,
 - diminution des remontées capillaires (terres humides),
- Améliorer les conditions de compactage et la praticabilité,
- Réutiliser le matériau,
- Eviter les fissures de retrait,

- Stocker ou camionner le matériau traité sur de longues distances,
- Réaliser un bon malaxage quand le matériau non traité ne s'y prête pas bien,
- Protéger les accotements routiers des infiltrations d'eau,

II-3-3/ Limites d'utilisation

Il est possible d'utiliser les produits consolid à diverses fins ; aussi nombreuses qu'elles soient, il existe cependant des matériaux dont les caractéristiques ne favorisent pas la bonne tenue en construction lorsque mélangés aux produits consolid. Ainsi, pour une efficacité du traitement sur le sol, le matériau doit satisfaire à certains critères de performances.

Les sols pouvant être améliorés avec succès sont ceux dont la quantité de fines, plus précisément la fraction granulaire de diamètre inférieur à 60 micromètres (limons et argiles selon la norme ASTM), représente au moins 20% du poids. Ils doivent en outre comporter du gravier arénacé donc des particules de diamètre supérieur à 2 mm. D'une façon générale, 1 part de sol imperméable et 3 à 4 parts de fraction de gravier font un sol imperméable dont le mélange est plus facile à réaliser. L'indice de plasticité de la fraction imperméable (IP) ne devrait pas dépasser 20%, et sa limite de plasticité (plan horizontal) pas plus de 40%. La plus grande taille de grains peut être limitée entre 20 et 30 millimètres. Le traitement des sols fortement imperméables (IP supérieur à 20%) devient plus difficile par le fait qu'un mélange uniforme des agents additifs ne peut pas être toujours assuré.

C'est le cas des argiles à faible pourcentage de sables ou de graviers qui, avant le développement du solidry, donnait de mauvais résultats lorsque traitées à la formule consolid 444 + conservex. Cela est dû aux difficultés qui se présentent quand il s'agit de séparer les grains lors du malaxage ; cette séparation s'avère presque impossible lorsque l'argile est humide et qu'il faille lui ajouter encore plus de liquide par l'apport des produits chimiques. C'est là que se situe principalement la différence entre le conservex et le solidry ; ce dernier étant répulsif de l'eau et se présentant sous forme pulvérulente, il se met plus facilement en contact avec les grains du sol argileux.

Les sols granulaires qui n'ont pas subi d'amélioration, les terres végétales et les sols trop calcaires (à cause de la réaction chimique de base) sont à priori inadaptés aux produits consolid. Cependant, il n'est pas interdit d'envisager le traitement de sols comportant de faibles quantités de matières organiques ou des sels dissous mais plutôt avec le solidry.

II-4/ MATERIEL ET METHODOLOGIE DE CONSTRUCTION

II-4-1/ Matériel de construction

Nouveaux produits n'impliquent pas forcément nouveau matériel. La construction aux produits consolid ne demande pas de machines spéciales. Celles couramment utilisées dans les chantiers conviennent tout aussi bien. L'essentiel est d'assurer un mélange homogène, efficace et de pouvoir stocker les matériaux et les produits chimiques aussi longtemps qu'on le voudra. Pour se faire, le site devra être pourvu d'équipements tels que :

- Niveleuse motorisée munie de herses,
- Camion-citerne muni d'une barre arroseuse pour une distribution homogène des produits chimiques,
- Charrue à disques ou rotorvator ou les deux,
- La présence d'une pompe de faible dimension pour acheminer les additifs de nature liquide (consolid 444 et conservex) des bidons de stockage au camion-citerne est souhaitable,
- Une machine de compactage adéquate.

II-4-2/ Méthodologie de construction

Avec le matériel disponible, le mélange des produits au sol peut se faire de deux (2) manières à savoir le malaxage in situ (directement sur le sol) et le prétraitement ou malaxage en centrale fixe ou mobile.

II-4-2.1/ Malaxage in situ

Cette méthode est recommandée lorsque le sol in situ est utilisé tel quel (sans amélioration mécanique) ou lorsque les conditions dans le chantier ne justifient pas le recours à la centrale. Son avantage réside dans la réduction substantielle des coûts de manutention et de transport qu'elle génère. Le mélange du sol aux produits consolid et à l'eau de compactage qui les contient se fait directement au sol sur le site de construction. Le débit d'aspersion et la vitesse du camion citerne doivent être calibrés en effectuant au préalable des planches d'essai afin d'obtenir les dosages et les teneurs en eau voulus.

II-2-2/ Prétraitement ou malaxage en centrale

Il faut recourir à cette méthode lorsque le matériau à traiter est un emprunt (issu d'une carrière par exemple) à transporter jusqu'au lieu de construction ou lorsqu'il s'agit de cas où les mélanges de matériaux sont inévitables et délicats à réaliser.

- L'intérêt de cette méthode se situe dans la réduction des coûts de malaxage ; en outre, les pertes de fines sont presque inexistantes et le stockage peut se faire sans perte de l'efficacité du traitement. L'effet des additifs étant irréversible et s'améliorant avec le temps, il n'y a pas de limites temporelles entre le début du malaxage en centrale et l'entame de la construction sur le site. Ceci pour dire tout simplement que la durée du transport n'affecte pas la qualité du traitement.

Le sol est mélangé à l'eau et aux produits consolid dans des bétonnières avant d'être stocké et/ou utilisé au lieu et au moment voulus. Avec cette méthode, il faut faire en sorte de mettre dans le malaxeur la quantité d'eau juste nécessaire à une distribution homogène des additifs pour leur permettre d'agir de manière efficace. Le reste de l'eau sera ajouté avant le début du compactage pour obtenir la densité sèche maximale à la teneur en eau de l'Optimum Proctor Modifié (OPM).

Le malaxage constitue en fait une étape d'une grande importance dans la phase de construction avec les produits consolid. De sa qualité dépend en grande partie l'efficacité du traitement ; c'est pour cela que le respect des dosages et des procédures doit être une priorité pour les exécutants. En outre, des dispositions doivent être prises pour une bonne réalisation du corps de chaussée traité aux

produits consolid ; elles diffèrent donc en fonction du produit utilisé c'est-à-dire qu'il s'agisse soit du consolid 444, soit du conservex, soit du solidry.

II-4-2.3/ Traitement au consolid 444

Avant de débiter tous travaux, il faut d'abord connaître, à partir des essais de laboratoire, les quantités des différents additifs à utiliser et les valeurs indispensables à la phase de construction. Il s'agit de :

- la quantité d'eau correspondant à l'OPM,
- la quantité minimale d'eau permettant d'assurer un malaxage homogène du consolid 444 avec le sol,
- le dosage en consolid 444 et les proportions du produit par rapport à l'eau dans la solution (1 volume de C444 dans 20 à 50 volumes d'eau),
- la quantité de la solution à verser sur la zone à traiter.

Après cela, peut commencer la construction sur le site. La zone à traiter est préparée de la manière suivante :

- Labourer la couche de sol en faisant en sorte de bien séparer les grains par le passage de la charrue à disques et/ou du rotorvator jusqu'à une profondeur de 15 à 30 cm (généralement 25 cm).
- Placer les 2/3 de la quantité d'eau calculée dans le camion-citerne ou le remplir aux 2/3 de sa capacité. Ajouter la dose de C444 prescrite pendant que l'eau est mise en mouvement dans le camion-citerne ; faire attention à ce que

le C444 ne reste pas seulement en surface. Ensuite, le troisième tiers de l'eau est introduit de la même manière.

- La solution de C444 est versée uniformément à la surface du sol à traiter.
- La charrue à disques et/ou le rotorvator effectue le malaxage jusqu'à la profondeur désirée. Le produit agissant à la surface des particules du sol, il y a lieu d'assurer leur contact. Ainsi, pour une efficacité du traitement, le sol doit être aussi fin que possible, pas par concassage, mais tout simplement par séparation des grains qui sont parfois plus ou moins collés les uns aux autres.
- Commence alors la phase de compactage du sol avec l'utilisation du compacteur adéquat, afin d'obtenir la densité sèche spécifiée. Il est préférable d'utiliser un rouleau à pieds de mouton. Le compactage se poursuit jusqu'à ce que les pieds du rouleau ne s'enfoncent qu'à environ 5 à 6 centimètres du sol.

II-4-2.4/ Traitement au conservex

Au même titre que le consolid 444, le conservex est mélangé au sol dans des proportions bien définies. Le respect des procédures de construction garantit l'efficacité du traitement. A cet effet, la préparation et l'adjonction de la solution de conservex au sol doit être faite en respectant la procédure suivante :

- Le conservex est d'abord dilué dans de l'eau, sur le site de construction, à la concentration définie au cours des essais de laboratoire. La dilution doit se faire à raison d'un (1) volume de Conservex pour trois (3) d'eau.
- La miscibilité de l'additif en milieu aqueux dépend dans une certaine mesure du pH de l'eau. Au cas où cette valeur n'e serait pas connue, il est conseillé

d'ajouter un (1) litre d'acide chlorhydrique à l'eau de dilution avant l'apport du conservex. Autrement, un test peut être fait afin de s'assurer de l'homogénéité de la solution. Il s'agit de réaliser une petite quantité de solution et de la verser sur une feuille de papier ; si le mélange ne semble pas assez homogène, il faut ajouter de l'acide chlorhydrique (le chlore utilisé dans les piscines convient) à raison de 1/1000, mélanger et refaire le test sur le papier. Procéder ainsi jusqu'à obtenir une solution homogène. Ensuite, la même proportion d'acide chlorhydrique sera ajoutée à l'eau de dilution devant être utilisée pour le traitement du sol.

- Placer les 2/3 de la quantité d'eau calculée dans le camion-citerne ou le remplir aux 2/3 de sa capacité. Ajouter lentement la quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pendant que l'eau tourne dans le camion-citerne avant de mettre le conservex en solution. Ensuite, le tiers d'eau restant est introduit de la même manière, toujours avec l'eau en mouvement.
- Lorsque la solution est devenue homogène, elle est versée sur la surface du sol préalablement mélangé au consolid 444, par le passage du camion-citerne. Il faut faire en sorte d'assurer une distribution uniforme sur la surface.
- Avec les mêmes engins utilisés pour le consolid 444, le sol est mélangé à la solution jusqu'à la profondeur désirée. Ceci ne doit être arrêté que lorsque la couleur du sol aura changé et sera devenu la même sur toute la surface (homogénéité du mélange).
- Procéder au compactage à la densité requise avec le matériel adéquat. La couche contenant le conservex a une limitation au point de vue granulométrique, dans ce sens qu'elle doit contenir des grains de diamètre

inférieur à 20 ou 30 mm, ou tout simplement, ne dépassant pas le tiers de l'épaisseur de la couche.

- Pour remédier aux problèmes de surface tels que l'érosion, la formation de poussières qui en découle et les agressions en cas de fortes pluies (glissements, stagnations d'eaux, etc.), il est conseillé de réaliser une couche de protection rugueuse à la surface du sol traité. Le conservex peut donc être utilisé pour faire office d'enduit de surface. Il est dilué dans de l'eau dans les proportions de 100 à 200 ml pour 1 litre d'eau et par mètre carré puis aspergé à la surface du sol. Cette fine couche n'est pas faite pour résister à l'abrasion, mais pourra néanmoins supporter les agressions dues au pneus des véhicules pendant une longue période. Son efficacité dépendra des caractéristiques géométriques de la couche.

II-4-2.5/ Traitement au solidry

Les procédures de construction sont plus simples avec le solidry car il n'y a pas de préparations particulières à faire. Après la détermination du dosage adéquat, les quantités d'additifs à appliquer par mètre carré de surface sont calculées. Les sacs de solidry, d'un poids de 30 kg chacun, sont disposés uniformément sur la surface à traiter. En prenant l'exemple d'une route, les sacs sont alignés sur un côté de la voie à intervalles réguliers permettant de couvrir la surface avec la dose prescrite. La poudre est alors versée dans le sens de la largeur de la chaussée, puis étalée à l'aide de râtaux. Le mélange à la profondeur voulue est réalisé assez lentement pour éviter que le solidry, qui est un matériau pulvérulent très fin, ne s'envole. Les

mêmes engins qui ont servi à mélanger le sol au consolid 444, à savoir la charrue à disques ou le rotorvator, conviennent.

La principale précaution à prendre avec ce mode de construction consiste à ne pas programmer le travail aux périodes où le vent souffle fort. Cependant, il n'est pas interdit d'utiliser le solidry dans les régions exposées aux vents forts ; une autre alternative se présente avec le prétraitement. Dans ce cas, le sol, l'additif et l'eau sont malaxés dans une bétonnière avant d'être répandus sur le site de construction.

Vient ensuite le compactage avec les mêmes engins utilisés pour les autres produits consolid.

II-5/ EXEMPLES D'APPLICATIONS PRATIQUES EN CONSTRUCTION ROUTIERE

Les produits consolid ont eu à être utilisés dans un bon nombre de pays à travers le monde. Une grande variété de sols a ainsi été traitée soit en phase expérimentale ou en pratique dans plusieurs projets de réalisation d'ouvrages. Les années de recherche et d'expérimentation effectuées ont prouvé que :

- Le traitement offrait de meilleures augmentations de résistance sur les sols graveleux, que sur les sols silteux, les argiles venant en dernière position.
- Avec les produits consolid, les performances des sols améliorés mécaniquement sont plus satisfaisantes que celles des sols à l'état naturel.

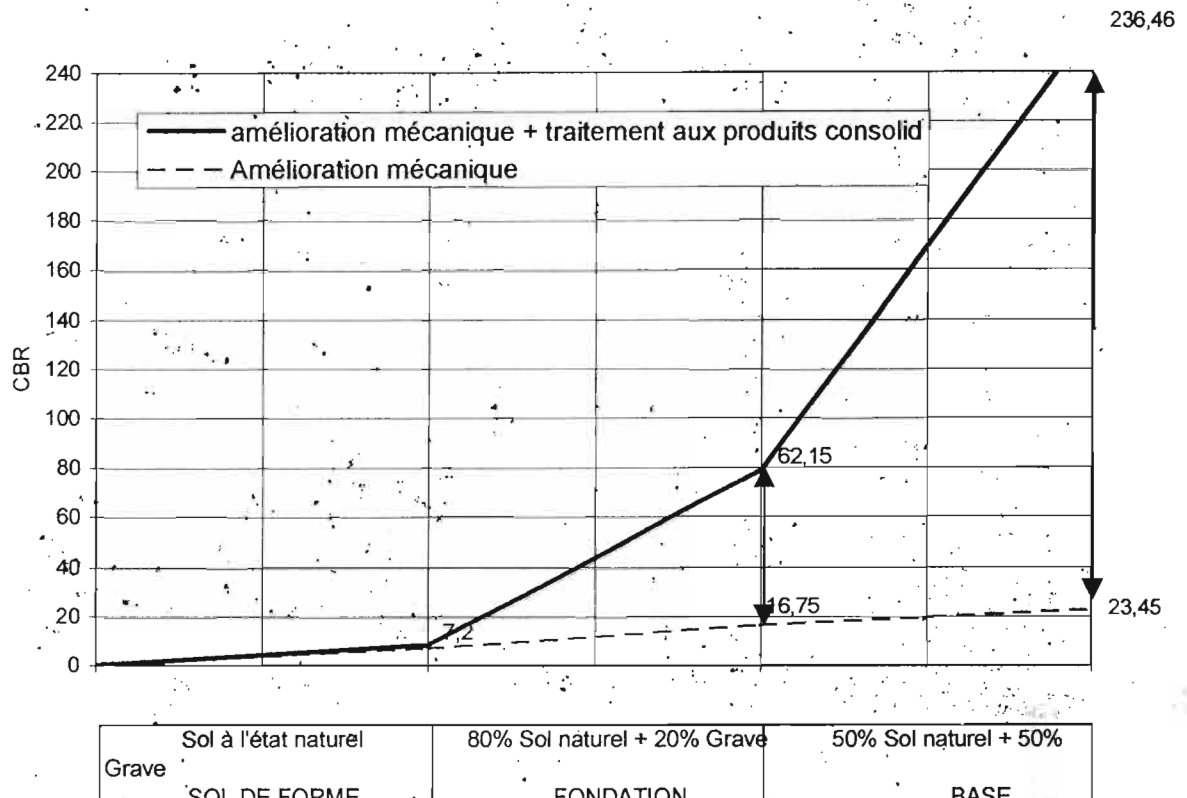


Figure 1 : Performances des produits consolidés sur un matériau ayant fait l'objet d'une amélioration mécanique

Voyons quelques exemples de réalisations de chaussées avec utilisation des produits consolidés à travers le monde.

II-5-1/ Suisse (1996)

Les travaux concernent la réhabilitation du corps de chaussée de **Hegenstrasse** dans la commune d'**Entlebuch**, canton de la **Luzerne**. Il s'agit d'une route de 2 km de long très sensible aux effets de l'eau. Le corps de chaussée existant est en grave

limoneuse tandis que le matériau trouvé sur le site est une argile limoneuse contenant une faible proportion de matières organiques.

Le but du traitement est de faire une chaussée stable vis-à-vis des agressions de l'eau et résistante au gel. A cet effet, la cohésion du sol est d'abord modifiée en mélangeant les deux matériaux ; ensuite, cette mixture est traitée à la formule consolid 444 + solidry. Nous présentons dans ce qui suit quelques valeurs significatives obtenues au cours des opérations réalisées.

- Sol non traité
 - Matériau : grave silteuse + 30% argile à faible proportion de matières organiques.
 - $\gamma_s = 2,07 \text{ kg/m}^3$
 - $W_{OPM} = 9,5 \text{ à } 10,5\%$
 - gonflement : < 1%
- Site de construction
 - dimensions : 7200 m² Longueur = 2 km
 Largeur = 3,6 m
 - traitement : épaisseur = 40 cm
 2300 litres de consolid 444
 53000 kg de solidry
 - quantités au mètre carré : 330 ml de consolid 444 (0,825 ml/m³)
 7,55 kg de solidry (18,875 kg/m³)

dans la mesure où elles ont un comportement instable en corps de chaussée ; leur usage étant souvent déconseillé, les carriers sont confrontés à des problèmes de stockage de ces produits pour des raisons environnementales. L'option consolid permet de les utiliser à des taux allant jusqu'à 30 à 50%. Les matériaux sont mélangés à la carrière où se fait également l'adjonction des produits de traitement avant leur acheminement au chantier.

II-5-3/ Pakistan (1996/1998)

Nous parlons ici du cas d'une route usitée en majorité par les poids lourds, construite à **Karachi** avec un mélange de 80% de sable de mer et de 20% d'argile pour en augmenter la cohésion. Ces deux (2) matériaux étant les seuls disponibles en quantités suffisantes dans la zone du projet, il s'est avéré plus économique de les utiliser que de recourir à un matériau d'emprunt dont le transport risquerait d'engendrer un surplus de dépenses. Le corps de chaussée est recouvert d'un enduit en asphalte réalisé à chaud, d'une épaisseur de 1,5 cm. En partant d'un CBR de l'ordre de 6 à 7 pour le mélange sable + argile, le traitement au consolid 444 + solidry a permis d'avoir une augmentation de l'ordre de 650% avec des valeurs comprises entre 40 et 45. A cela s'ajoute une réduction de l'épaisseur du corps de chaussée (12 cm au lieu des 18 cm calculées avec les méthodes traditionnelles de dimensionnement des chaussées) et, par conséquent, une économie de 30% sur les coûts de construction. Le problème lié à la sensibilité à l'eau des fines argileuses est maîtrisé ce qui leur permet d'assurer la liaison des grains du sol.

Les essais réalisés par l'entrepreneur pour vérifier l'efficacité du traitement après la mise en service de la route ont montré que le CBR augmentait avec le temps. Il a été constaté que le corps de chaussée restait sec après les pluies même en cas de stagnations d'eaux en surface. Le passage des véhicules poids lourds s'effectue sans endommager la structure et la destruction de la structure de la route nécessiterait l'utilisation d'engins de très haute résistance. Il est à noter que l'utilisation du sable de mer n'a eu aucun effet négatif sur le comportement du corps de chaussée.

II-5-4/ Autres

De manière générale, l'utilisation des produits consolid en construction routière s'est faite dans tous les continents ; s'ajoutent donc aux pays européens :

- Afrique : Kenya, RSA, Tanzanie, Zimbabwe ;
- Amérique : Etats-Unis, Argentine, Salvador ;
- Asie : Inde, Philippines, Iran ;
- Océanie : Australie.

CHAPITRE III

EXPERIMENTATIONS SUR UN SOL AU
SENEGAL :
CAS DU SABLE ARGILEUX DE
DIAMNIADIO

III- EXPERIMENTATIONS SUR UN SOL AU SENEGAL :

CAS DU SABLE ARGILEUX DE DIAMNIADIO

A titre expérimental, les produits consolid sont appliqués à des sols de nature et de caractéristiques mécaniques et physiques différentes pour déterminer l'efficacité du procédé de traitement. Il s'agit surtout de trouver l'alternative, consolid 444 + solidry ou consolid 444 + conservex qui donne de meilleurs résultats et les dosages à appliquer.

Les deux (2) matériaux utilisés sont :

- Latérite de la carrière de Dakhar Mbaye
- Sable argileux de Diamniadio (sol trouvé sur place)

Des essais sont d'abord réalisés au laboratoire pour déterminer les caractéristiques de ces matériaux. Les résultats obtenus, montreront si le traitement est nécessaire (ce qui n'est pas le cas pour un matériau de bonnes performances), et au demeurant, une amélioration mécanique sera (si elle est s'avère opportune) avant de procéder au traitement aux produits consolid.

III-1/ IDENTIFICATION DES MATERIAUX

Les valeurs caractéristiques déterminantes dans le dimensionnement d'une route et qui sont susceptibles d'être améliorées par le traitement sont :

- La granulométrie,
- Le poids spécifique des grains solides ;
- Les limites de liquidité, de plasticité, et l'indice de plasticité ;
- La densité maximale et la teneur en eau optimale de compactage ;
- L'indice portant CBR ;
- La remontée capillaire (sensibilité à l'eau) ;
- La résistance à la compression.

III-1-1/ Latérite de la carrière de Dakhar Mbaye

III-1-1.1/ Granulométrie

L'essai est réalisé d'abord par tamisage à sec sur la partie grossière (diamètre supérieur à 4,750 mm) puis sur la partie fine (4,750 à 0,075 mm). Ensuite, un essai de sédimentométrie est fait avec la portion de sol de diamètre inférieur à 0,425 mm ; à la fin de cet essai, le lavage (tamisage dans l'eau) est fait sur le résidu retenu au tamis 200 (0,075 mm). Les coefficients d'uniformité (C_u) et de courbure (C_c) sont donnés par les formules suivantes :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60}D_{10}}$$

D_{10} , D_{30} et D_{60} représentent respectivement les diamètres des tamis laissant passer respectivement 10, 30 et 60% du matériau.

III-1-1.2/ Poids spécifique

L'essai de détermination du poids spécifique est réalisé après l'essai granulométrique sur la fraction de sol passant le tamis de module 40 (0,425 mm) constituée de sable, de silt et d'argile. La méthode utilisée est celle du pycnomètre. Pour plus de précisions, 3 mesures sont réalisées, et la valeur admise est leur moyenne arithmétique. Les résultats ont donné la valeur de $\gamma_s = 2,89 \text{ g/cm}^3$ pour la latérite de la carrière de Dakhar Mbaye.

III-1-1.3/ Limites d'Atterberg

La connaissance des limites d'Atterberg permet de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de la teneur en eau. L'essai se fait uniquement sur les éléments fins du sol et il consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément en observant sa consistance. Il permet aussi de faire une classification du sol. Les valeurs de teneur en eau à connaître sont :

- La limite de liquidité (LL) déterminée à l'aide de la coupelle de Casagrande,
- La limite de plasticité (LP) déterminée en confectionnant manuellement un cylindre de sol de diamètre 3 mm qui se fissure lorsqu'on le soulève, à cette teneur en eau.

- En outre, l'indice de plasticité (IP) est calculé par la formule $IP = LL - LP$.

III-1-1.4/ Densité maximale et teneur en eau optimale de compactage

Le compactage d'une couche de chaussée détermine en grande partie sa résistance aux efforts le sollicitant en cours de service. Pour obtenir du sol ces meilleures performances en terme de résistance, il faut lui assurer un compactage avec une énergie suffisante et à une teneur en eau dite optimale. L'essai Proctor modifié est donc réalisé pour déterminer la valeur de densité sèche maximale (γ_{dmax}) et la teneur en eau optimale (W_{OPM}) de compactage du sol. γ_{dmax} sera la densité sèche de référence correspondant à une compacité de 100%.

III-1-1.5/ CBR

Après la connaissance de γ_{dmax} et W_{OPM} , la résistance du matériau au poinçonnement est déterminée par l'essai CBR. Trois (3) moules de sol sont compactés à une teneur en eau voisine de W_{OPM} et à énergie décroissante puis imbibés dans de l'eau pendant 96 heures avant d'être poinçonnés. La valeur du CBR est calculée à partir des contraintes correspondant à des enfoncements de 2,5 mm et 5,0 mm.

$$CBR = \max \left[\frac{P_{2.5}}{0,703}, \frac{P_{5.0}}{1.051} \right]$$

$P_{2.5}$: contrainte correspondant à un enfoncement de 2,5 mm (en kgf/cm²)

$P_{5.0}$: contrainte correspondant à un enfoncement de 5,0 mm (en kgf/cm²)

III-1-1.6/ Exploitation des résultats

- Classification de la latérite de la carrière de Dakhar Mbaye

La classification des sols est faite suivant les deux systèmes les plus utilisés ; il s'agit des systèmes AASHTO et UCSC

- Méthode de l'AASHTO

AASHTO Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures

General Classification	Granular Materials (35% or less passing 0.075 mm)							Silt-Clay Materials (More than 35% passing 0.075 mm)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Group Classification	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Sieve Analysis, Percent Passing: 2.00 mm (No. 10) 0.425 mm (No. 40) 0.075 mm (No. 200)	50 max	50 max	51 min	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of Fraction Passing 0.425 mm (No. 40) Liquid limit Plasticity index	6 max		N.P.	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min ^a
Usual Types of Significant Constituent Materials	Stone Fragments Gravel and Sand		Fine Sand	Silty or Clayey Gravel Sand				Silty Soils		Clayey Soils	
General Rating as Subgrade	Excellent to Good							Fair to Poor			

^aPlasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30.

Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30.

-Détermination de l'indice de groupe de la latérite de la carrière de Dakhar Mbaye.

Soit X le pourcentage de passant au tamis de 75 μm .

$$X = 5,62$$

$$X < 35 \quad \Rightarrow \quad a = 0$$

$$X < 15 \quad \Rightarrow \quad b = 0$$

$$LL = 41,51$$

$$40 < LL < 60 \quad \Rightarrow \quad c = LL - 40 = 41,51 - 40 = 1,51$$

$$IP = 14,56$$

$$10 < IP < 30 \quad \Rightarrow \quad d = IP - 10 = 14,56 - 10 = 4,56$$

$$I_g = 0,2a + 0,005a.c + 0,01b.d$$

$$I_g = 0,2 \times 0 + 0,005 \times 0 \times 1,51 + 0,01 \times 0 \times 4,56 = 0$$

$$I_g = 0$$

-Classification

$$\% \text{ passant au tamis } 10 \text{ (2 mm)} = 18,88$$

$$\% \text{ passant au tamis } 40 \text{ (0,425 mm)} = 10,73$$

$$\% \text{ passant au tamis } 200 \text{ (0,075 mm)} = 5,62$$

$$\Rightarrow \text{ classe A-1-(a,b) ou A-2-(4,5,6,7)}$$

$$LL = 41,51 \quad \text{et} \quad IP = 14,56$$

\Rightarrow La latérite de la carrière de Dakhar Mbaye est de classe A-2-7 ce qui constitue un matériau granulaire avec une proportion non négligeable de fines argilo-limoneuses.

- la méthode de l'USCS

- la méthode de l'USCS

Le sol est constitué en majorité de graviers (88,12%), \Rightarrow G

$$C_u = 22,73 > 4$$

$$C_c = 4,40 > 3$$

\Rightarrow ces valeurs ne satisfont pas aux critères GW \Rightarrow GP

LL et IP se situent au-dessus de la ligne A dans l'abaque de plasticité : \Rightarrow GC

La proportion de fines (particules de diamètre inférieur à 0,075 mm selon USCS) est de 5,62% (comprise entre 5 et 12%),

\Rightarrow La latérite de la carrière de Dakhar Mbaye est de classe GP-GC c'est-à-dire que c'est une grave argileuse mal graduée.

III-1-2/ Sable argileux de Diamniadio

Cet échantillon de sol a été prélevé à Diamniadio. Il constitue l'un des sols retrouvés sur la plate-forme de l'autoroute en construction Bargny-Diamniadio. Les valeurs caractéristiques ont été déterminées par des essais de laboratoire au cours des études pour l'exécution de l'autoroute.

Les résultats obtenus sont donnés dans ce qui suit :

$$W_{OPM} = 13,00\% \quad \gamma_{dmax} = 1,75 \text{ g/cm}^3 \quad \gamma_h = 1,978 \text{ g/cm}^3 \quad \gamma_s = 1,65 \text{ g/cm}^3$$

$$LL = 42,80\% \quad LP = 20,05\% \quad IP = 22,75\%$$

$$\text{Gonflement à 25 coups} = 4,26\%$$

$$W_{sat} = 19,1\% \quad S_r = 83,7\% \quad n = 0,3382 \quad e = 0,5110$$

Les résultats de l'essai CBR sont consignés dans le tableau suivant :

Essai CBR	γ_h	γ_d	CBR	Compacité
10 coups	1,780	1,589	2	90,80%
25 coups	1,879	1,677	2	95,80%
55 coups	1,978	1,766	3	100,90%

Tableau 2 : résultats CBR du sable argileux de Diamniadio

SOURCES : Jean Lefebvre Sénégal (2001)

- Classification du sable argileux de Diamniadio

- Méthode de l'AASHTO

-Détermination de l'indice de groupe.

Soit X le pourcentage de passant au tamis de 75 μm .

$$X = 40$$

$$35 < X < 75 \Rightarrow a = X - 35 = 40 - 35 = 5$$

$$15 < X < 55 \Rightarrow b = X - 15 = 40 - 15 = 25$$

$$LL = 42,80$$

$$40 < LL < 60 \Rightarrow c = LL - 40 = 42,80 - 40 = 2,5$$

$$IP = 22,75$$

$$10 < IP < 30 \Rightarrow d = IP - 10 = 22,75 - 10 = 12,75$$

$$I_g = 0,2a + 0,005a.c + 0,01b.d$$

$$I_g = 0,2 \times 5 + 0,005 \times 5 \times 2,5 + 0,01 \times 25 \times 12,75 = 4,25$$

On prend **$I_g = 4$**

-Classification

% passant au tamis 10 (2 mm) = 98

% passant au tamis 40 (0,425 mm) = 94

% passant au tamis 200 (0,075 mm) = 40

⇒ classes A-(4,5,6 ou7)

LL = 42,80 et IP = 22,75

Le sol prélevé sur le tronçon Bargny-Diamniadio est de classe A-2-7.

- la méthode de l'USCS

$C_u = 2,14$

$C_c = 4,67$

Il n'y a pas de fraction graveleuse et le pourcentage de grains passant au tamis 200 (0,075 mm) est égal à 40 (compris entre 12 et 45) ⇒ SM ou SC

LL = 42,80 et IP = 22,75 donne un point au-dessus de la ligne de A dans l'abaque de plasticité, ce qui signifie qu'il s'agit d'un matériau dont les fines sont des argiles plastiques de moyenne plasticité. ⇒ SC qui correspond à un sable argileux.

Les 2 modes de classification utilisés montrent qu'il s'agit d'un sable argileux qui aurait un mauvais comportement au cas où il serait utilisé en couche de fondation d'une route.

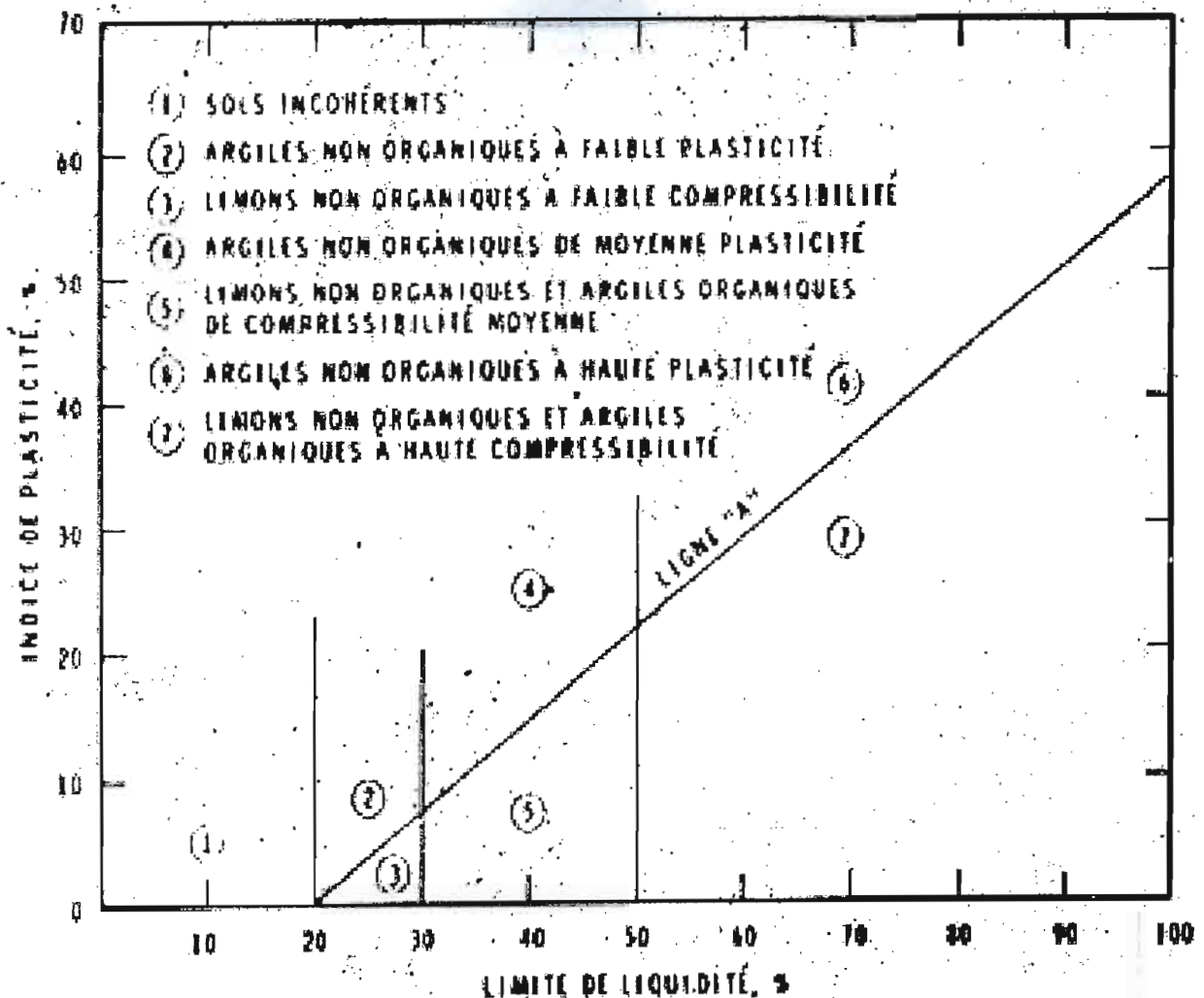


Tableau 3 : Abaque de plasticité de Casagrande

Les valeurs de gonflement et les pressions de gonflement que présente ce matériau montrent qu'il est très sensible à l'eau. En plus, du point de vue résistance, son utilisation même en couche de forme n'est pas conseillée. Cela causerait des désagréments aussi bien au cours de la construction surtout en saisons humides où les engins de terrassements risquent de s'embourber et retarder le travail, qu'en cours de service avec les déformations importantes qui conduiraient à la rupture du corps de chaussée. La valeur d'indice des vides qu'il présente montre que les possibilités de resserrement sont énormes à condition de trouver des conditions favorables.

Pour toutes ces raisons, nous préconisons le traitement de ce sol en vue de rendre possible son utilisation dans les projets routiers intéressant cette zone de préférence.

III-2/ TRAITEMENT

Les matériaux présentés dans cette étude ont des caractéristiques et un comportement en chaussée différents.

La latérite de Dakhar Mbaye présente, à l'état naturel, un CBR suffisant pour son utilisation en couche de base ; elle ne nécessite donc pas de traitement.

Le sable argileux de Diamniadio est quant à lui qualifié de « mauvais matériau routier ». Son utilisation est dans la majorité des cas proscrite sauf à de rares exceptions où il doit au préalable faire l'objet d'un traitement à la chaux pour pouvoir constituer non pas le corps de chaussée, mais plutôt la couche de forme permettant le passage, sans problèmes, des engins de chantier.

Il serait alors intéressant de voir dans quelles proportions traiter le sable argileux de Diamniadio aux produits consolid pour permettre son utilisation à grandes proportions en construction routière. Il s'agit donc maintenant de l'améliorer mécaniquement par l'adjonction de latérite pour corriger sa granulométrie, augmenter sa résistance et améliorer sa tenue à l'eau, sans s'attendre à des résultats exceptionnels mais juste pour favoriser le traitement qui sera fait sur le mélange optimum. Le pourcentage de latérite devant être moins importants (moins

de 50%) que celui de l'argile dans le mélange ceci pour une réduction significative des coûts de transport y afférant.

III-2-1/ Amélioration mécanique

Les deux (2) formulations suivantes sont étudiées :

80% sable argileux + 20% latérite (80A20L)

70% sable argileux + 30% latérite (70A30L)

Les essais de compactage réalisés au moule Proctor modifié ont donné les résultats suivants :

	80A20L	70A30L
γ_{dmax}	2,05 g/cm ³	2,07 g/cm ³
W_{OPM}	8,80%	8,00%

Tableau 4 : Résultats de l'essai Proctor modifié des formulations 80A20L et 70A30L

Les valeurs obtenues sont presque identiques mais légèrement meilleures pour le mélange 70A30L qui offre une meilleure densité et demande moins d'eau de compactage. Les essais CBR réalisés sur ce mélange donnent la valeur de 17 à 95% de l'OPM qui devrait logiquement être supérieure à celui du mélange 80A20L. en outre, les valeurs de gonflement sont réduites et deviennent inférieures à 1%.

C'est donc le traitement du mélange 70A30L qui constitue la suite de notre étude.

III-2-2/ Traitement du mélange de 70% de sable argileux de Diamniadio et de 30% de latérite de la carrière de Dakhar Mbaye aux produits consolid

Les essais de traitement sont effectués avec les trois produits à différents dosages.

Les valeurs maximales et minimales conseillées sont :

C444 : 0,4 à 0,8 litre/m³ (0,02 à 0,04%)

CX : 10 à 20 litres/m³ (0,5 à 1%)

SD : 1 à 2%

Signalons qu'à part le conservex qui peut créer une baisse de résistance lorsqu'il est en excès, le dépassement des valeurs maximales données ici ne sauraient en aucun cas conduire à de mauvais résultats. Cependant, la finalité du traitement n'est pas d'obtenir les plus grandes valeurs possibles mais plutôt d'atteindre celles qui sont spécifiées dans les normes en vigueur (exemple CBR 80 en couche de base et 30 en fondation de chaussée revêtue). Il s'agit en réalité d'une marge où le traitement est supposé donner les résultats qui seront d'autant plus importants que le dosage augmente, surtout avec le solidry et le conservex.

Nous avons noté dans la plupart des projets où les produits consolid ont été utilisés, que le C444 était dosé à 0,8 litres/m³; cela équivaut, en supposant que le sol pèse 2000 kg/m³, à 2 ml de C444 en solution dans 100 ml (50 × 2 ml) d'eau pour 5 kg de

sol lors de l'essai Proctor modifié. Avec les modes de malaxage dont nous disposons au laboratoire (truelles) ajouté au fait que l'échantillon est constitué d'argile plastique difficile à malaxer à l'état humide, il serait difficile d'obtenir de bons résultats avec une dose plus faible. Nous ne traitons donc qu'à la dose de $0,8 \text{ litre/m}^3$.

Le CX n'est pas conseillé pour les sols argileux car il donne souvent de mauvais résultats du fait du défaut d'homogénéité qui survient au cours du malaxage. Les argiles, surtout lorsqu'elles sont grasses (IP élevé), présentent des difficultés quand il s'agit de séparer les grains. Ceci s'accroît lorsque le sol est humide et qu'il faille encore lui ajouter un produit de nature liquide. Nous allons cependant traiter le mélange 70A30L au conservex d'abord à 1% et moins au cas où les résultats seraient bons.

Pour ce qui est du solidry, son développement est principalement dû aux problèmes de compatibilité du conservex avec certains sols, les argiles plastiques notamment. Il n'y a priori pas de raisons de limiter les pourcentages d'essai, c'est pourquoi nous le testons à 1 et 2%.

Ainsi, les essais pour le traitement se feront suivant les combinaisons suivantes :

Mélange	Désignation
70A30L + 0,8 l/m ³ C444	70A30LC
70A30L + 0,8 l/m ³ C444 + 1% SD	70A30LCSD1
70A30L + 0,8 l/m ³ C444 + 2% SD	70A30LCSD2
70A30L + 0,8 l/m ³ C444 + 20 l/m ³ CX	70A30LCCX1
70A30L + 0,8 l/m ³ C444 + 10 l/m ³ CX	70A30LCCX0,5

Tableau 5 : Formulations du traitement

Les essais Proctor modifié et CBR sont réalisés pour voir les améliorations apportées par le traitement. Les procédures sont les mêmes que pour le sol non traité sauf qu'au cours de l'essai CBR, il faut laisser le matériau sécher à environ 50% de sa teneur en eau avant de le soumettre à la saturation. Les résultats des essais Proctor modifié sont les suivants :

Désignation	γ_{dmax}	Rapport de γ_{dmax} à γ_{dmax} du mélange 70A30L	W_{OPM}	$(W_{OPM}) - (W_{OPM}$ du mélange 70A30L)
70A30LC	2,05 g/cm ³	99,52%	9,30%	1,30%
70A30LCSD1	2,14 g/cm ³	103,38%	9,30%	1,30%
70A30LCSD2	2,05 g/cm ³	99,03%	10,30%	2,30%
70A30LCCX0,5	2,06 g/cm ³	99,52%	11,00%	3,00%
70A30LCCX1	2,04 g/cm ³	98,55%	10,30%	2,30%

Tableau 6 : Résultats de l'essai Proctor modifié des formulations traitées

Les essais CBR ont donné les résultats suivants :

Désignation	CBR à 95% de l'OPM	CBR à 98% de l'OPM
70A30LC	17	
70A30LCSD2	63	84
70A30LCCX1	17	

Tableau 7 : Résultats de l'essai CBR des formulations 70A30LC, 70A30LCSD2 et 70A30LCCX1

Il a été jugé peu intéressant de réaliser les essais CBR sur les formulations à 1% de solidry et à 0,5% de conservex car, avec les résultats obtenus avec les doses supérieurs, il faudra s'attendre à des valeurs en deça des spécifications pour les couches de base et de fondation (CBR 80 et 30).

Pour estimer la sensibilité à l'eau du matériau traité, la réalisation d'un essai de succion s'impose. Le but est de mesurer la remontée d'eau par capillarité sur le sol compacté et, ainsi, de prévoir le comportement de la couche de chaussée en présence d'eau à sa base ; en ayant une idée sur la vitesse d'ascension capillaire, il sera possible de savoir s'il faut d'éventuelles protections (couche drainante, tapis imperméable, etc....). L'essai est réalisé sur 8 échantillons :

Latérite crue désignée par L

Sable argileux désigné par A

70A30L

70A30LC

70A30LCSD1

70A30LCSD2

70A30LCCX0,5

70A30LCCX1

Ils sont compactés en 5 couches à raison de 56 coups par couche dans des éprouvettes de diamètre 11cm et de hauteur 22cm. Démoulés après 24 heures, ils sont laissés 48 heures de plus à l'air libre pour séchage. Ensuite, ils sont posés sur un plateau contenant de l'eau jusqu'à environ 2 centimètres de hauteur (immersion de 9% à la base). Au fil du temps, le niveau de l'eau qui monte par capillarité est mesuré sur les éprouvettes à partir du fond du plateau.

III-2-3/ Analyse et interprétation des résultats

III-2-3/1 Proctor modifié

Les résultats des essais effectués ne montrent pas de variations immédiates remarquables des valeurs de γ_{dmax} . Une légère baisse est notée sur les mélanges dénommés 70A30LC, 70A30LCSD2, 70A30LCCX0,5 et 70A30LCCX1. Néanmoins, une légère augmentation est notée sur le 70A30LCSD1. Ces valeurs sont toutes obtenues à des teneurs en eau supérieures à celle du sol non traité.

Les densités sèches obtenues sont acceptables dans la mesure où les projets routiers préconisent en général un compactage au moins supérieur à 95% de l'OPM. La plus petite valeur obtenue ici est à 98,55% de la densité sèche du mélange 70A30L. Ces légers écarts trouveraient donc leur explication dans les procédés au cours de l'exécution des essais (incertitudes des appareils de mesures, arasage du moule, interpolation entre deux (2) points de la courbe Proctor, etc...). En fait, les effets du traitement sont remarquables avec le temps surtout lorsque le matériau s'assèche et se compacte par le passage des véhicules. Donc il n'est pas inquiétant de ne pas avoir de grandes variations des densités sèches immédiates. L'essentiel ici est d'avoir des valeurs les plus proches possibles de celles du sol non traité. Les résultats des essais CBR permettront de donner une meilleure idée sur l'efficacité ou non du traitement.

Les différences notées sur les teneurs en eau optimales de compactage trouvées sont dues à l'effet du C444. Au cours du compactage, le matériau a en son sein de l'eau libre et de l'eau liée. Pendant le séchage au four à 105°C, l'eau libre contenue entre les interstices du sol s'évapore. Avec la présence du C444, il y a en plus, la libération de l'eau liée ce qui fait que la teneur en eau calculée est plus grande ; tout se passe comme si le sol a été compacté à une teneur en eau plus élevée, ce qui n'est pourtant pas le cas. Cependant, Le SD hydrophobe agit également comme un agent répulsif de l'eau ; il ne facilite pas le mouillage du sol. Le CX est quant à lui un additif de nature liquide contenant de l'eau ; lorsque mal mélangé au sol (ce qui se produit avec les sols argileux), il crée des discontinuités, situation qui défavorise les conditions de mouillage optimales.

III-2-3.2/ CBR

Les moules sont compactés à une teneur en eau voisine de celle de l'OPM. Les moules étant séchés avant imbibition, l'action des produits sur le sol compact a commencé.

Il n'y a pas de variations avec les échantillons traités au consolid 444 seul (70A30LC) et au consolid 444 + conservex (70A30LCCX1). Ces résultats s'expliquent par un défaut d'homogénéité du mélange et aux faibles quantités d'additifs utilisés au laboratoire (2ml de C444 et 50 ml de CX pour 5kg de sol).

Par contre, le traitement au consolid 444 + solidry (70A30LCSD2) donne des résultats satisfaisants. D'un CBR de 17 pour le sol non traité, nous passons à 63 et 84 respectivement à 95% 98% de l'OPM, ce qui constitue une augmentation de l'ordre de 370%. Il y a donc des perspectives qui se dégagent quant à l'utilisation de cette formulation en couches de chaussée.

III-2-3.3/ Succion capillaire

Les valeurs dh données dans le tableau sont obtenues en faisant la différence entre le niveau de l'eau qui monte par capillarité sur l'éprouvette et les 2 cm immergés. L'analyse des résultats montre :

- L'éprouvette 70A30L se casse avant que l'eau n'atteigne la base supérieure au bout de 2 heures.
- Les éprouvettes A et L absorbent l'eau à des vitesses proches (un peu plus faibles pour L). L'argile atteint la rupture avant le mouillage de toute l'éprouvette et aux alentours de 8 heures tandis que la latérite est totalement mouillée mais seul sa base immergée s'érode.
- L'éprouvette 70A30LC évolue à peu près dans les mêmes conditions que L mais n'est pas endommagée.
- Les éprouvettes traitées au CX commencent à absorber l'eau entre 2 et 5 heures tandis qu'celles contenant du SD le font vers les 2 heures. Au bout de 96 heures, la succion n'évolue presque plus et reste faible surtout pour le SD.

Ces résultats confirment la plasticité de l'argile. Bien qu'étant moins résistante à l'état naturel qu'améliorée, elle est maintenue un peu plus longtemps en cohésion. L'amélioration mécanique l'a rendue moins plastique. L'effet du consolid 444 seul, ne modifie pas trop les propriétés hydrauliques mais plutôt la résistance ; cela explique le fait que l'éprouvette 70A30LC ne se casse pas mais prend l'eau comme celles qui n'ont pas subi de traitement. Avec l'adjonction du conservex et surtout du solidry, les éprouvettes deviennent presque imperméables avec des remontées capillaires allant de 4% (pour le 70A30LCSD2) à 12,5% (pour le 70A30LCCX0,5) seulement de la hauteur émergente après 4 jours.

III-2-4/ Conclusion

De l'analyse et de l'interprétation des résultats de l'étude effectuée, il ressort que les critères de CBR et de remontée capillaire sont les plus déterminants pour le choix de la solution à adopter pour le traitement du mélange. **La formulation à tous égards la plus performante est le 70A30LCSD2.** Elle donne la meilleure valeur de CBR et la plus faible remontée capillaire et une densité sèche maximale de l'ordre de celle des graves latéritiques. Elle répond aux exigences du « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux » (dans sa version de 1984) du CEBTP dans l'optique d'une utilisation en couche(s) de fondation et/ou de base de chaussées en terres comme revêtues, sauf que pour ce dernier cas l'utilisation en couche de base sera conditionnée par un compactage à 98% de l'OPM au lieu des 95% requis et pour des trafics faibles (T1 à T2). Cette disposition n'est pas contraignante et est justifiée dans la mesure où les engins de compactage actuels peuvent le permettre et que la résistance du sol traité aux produits consolid augmente avec le temps. En outre les valeurs de CBR données dans ce document sont obtenues après imbibition, condition qui peut être jugée sévère surtout lorsque le corps de chaussée a le temps de sécher avant d'être soumise à l'action de l'eau en service.

III-3/ PROPOSITION DE DIMENSIONNEMENT DE CHAUSSEE AVEC LE MELANGE 70A30LCSD2

Il s'agit ici de compléter l'étude expérimentale par des indications pour une éventuelle utilisation de la formulation choisie en corps de chaussée dans la zone où

à été prélevé le sable argileux et ses environs (Diamniadio, Rufisque, Bargny). Le «Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux» (dans sa version de 1984) du CEBTP servira de base de dimensionnement car s'adaptant bien aux conditions prévalant dans la zone concernée.

III-3-1/ Composition des couches de chaussée

Le sable argileux utilisé présente à l'état naturel les caractéristiques d'un mauvais matériau routier. Il se comporte comme une argile gonflante ce qui fait qu'en général, il est purgé (sans possibilités de réutilisation) pour être remplacé par un matériau d'emprunt ou bien traité à la chaux pour constituer la forme de la chaussée. L'étude réalisée ici permet non pas de recourir à ce sol pour améliorer un autre matériau, mais en réalité, c'est ce sol argileux qui est traité aux produits consolid en vue de rendre possible son utilisation dans les différentes couches de chaussée.

Il est à signaler que dans le projet de construction de l'autoroute Bargny-Diamniadio, l'argile a été totalement purgée et remplacée par un matériau d'apport.

Pour le cas de l'étude réalisée avec les produits consolid, il pourrait se présenter 2 options :

- La première consiste à décaper totalement la plateforme argileuse jusqu'à atteindre le bon sol et de réutiliser le matériau en le traitant selon la formulation 70A30LCSD2. Cela constitue un bon corps de chaussée pour

une chaussée en terre (couche d'amélioration), ou une chaussée revêtue destinée à supporter un trafic faible.

- La deuxième concerne les trafics élevés ; l'argile décapée pourra être traitée pour constituer la fondation de la chaussée et être complétée en couche de base avec un autre matériau. Cette option s'avère intéressante surtout dans le cas où l'épaisseur de la couche argileuse serait importante rendant difficile ou impossible sa purge totale. Le matériau sera dans ce cas enlevé jusqu'à une profondeur de 50 cm puis traité pour pouvoir être prête à recevoir la couche de base.

III-3-2/ Dimensionnement des épaisseurs des couches de chaussée

Deux (2) cas sont traités, à savoir une chaussée revêtue et une chaussée en terre.

III-3-2.1/ Cas d'une chaussée revêtue

La portance de la plate forme (ou de la couche de forme) a une incidence directe sur l'épaisseur totale de la chaussée et notamment sur celle de la couche de fondation, tandis que l'intensité du trafic conditionne la qualité et dans une large mesure, l'épaisseur des couches de base et de surface.

Les sols de plateforme sont classés suivant la valeur de leur CBR. Il est considéré un matériau de plateforme de CBR = 17 (situé dans la classe S₄, comme il est indiqué dans le tableau suivant).

Classe	CBR
S ₁	< 5
S ₂	5 – 10
S ₃	10 – 15
S ₄	15 – 30
S ₅	> 30

Tableau 8 : Classification des sols en fonction de leur portance (CEBTP)

La classe à prendre en compte pour le dimensionnement est donnée en fonction du CBR et de l'épaisseur minimale de la forme.

Matériau d'apport		Nouvelle classe à prendre en compte
Classe	Épaisseur minimale (en cm)	
S ₂ (5 – 10)	45	S ₂
S ₃ (10 – 15)	35	S ₂
S ₃ (10 – 15)	45	S ₃
S ₄ (15 – 30)	30	S ₂
S ₄ (15 – 30)	35	S ₃
S ₄ (15 – 30)	50	S ₄

Tableau 9 : Classification des sols en fonction de leur portance (CEBTP)

Il sera pris en compte une épaisseur de couche de forme de 40 cm; le dimensionnement se fera donc sur la base de la classe S₃. Les classes de trafic sont les suivantes :

- En nombre de véhicules par jour :

Classe	Nombre de véhicules par jour
T ₁	< 300
T ₂	300 à 1000
T ₃	1000 à 3000
T ₄	3000 à 6000
T ₅	6000 à 12000

Tableau 10 : Classes de trafic en nombre de véhicules par jour (CEBTP)

- En nombre de poids lourds pour une durée de vie de 15 ans, les poids lourds représentant 30% du trafic dans les pays en voie de développement.

Classe	Nombre de poids lourds
T ₁	< $5 \cdot 10^5$
T ₂	$5 \cdot 10^5$ à $1,5 \cdot 10^6$
T ₃	$1,5 \cdot 10^6$ à $4 \cdot 10^6$
T ₄	$4 \cdot 10^6$ à 10^7
T ₅	10^7 à $2 \cdot 10^7$

Tableau 11 : Classes de trafic en nombre de poids lourds (CEBTP)

Les épaisseurs de chaussée pour chaque classe de trafic sont données dans le tableau qui suit en considérant la classe S_3 pour la couche de forme.

Classes de trafic			
T1		T2	
Fondation (en cm)	Base (en cm)	Fondation (en cm)	Base (en cm)
15	15	20	15
30		35	

Tableau 12 : épaisseur minimale du corps de chaussée selon le trafic et le CBR de la forme

III-3-2.2/ Cas d'une route en terre

L'épaisseur minimale du corps de chaussée est donnée par la formule CBR corrigée de **PELTIER** :

$$e = \frac{100 + (75 + 50 \text{Log} \frac{N}{10}) \sqrt{P}}{CBR + 5}$$

e = épaisseur de la chaussée

N = nombre de poids lourds de plus de 3 tonnes par jour

P = poids de la roue en tonne

CBR = CBR corrigé de la plate forme de la plateforme

Le CBR corrigé de la plateforme est obtenu en en prenant un facteur de sécurité de 2 par rapport à la contrainte de rupture obtenue sur la courbe de poinçonnement.

Contrainte de rupture = 39 kgf/cm² (la rupture n'est pas atteinte au cours de l'essai mais nous prenons la valeur correspondant à l'enfoncement de 12,5 mm).

$$CBR = \frac{39}{2} = 19,5$$

Le tableau suivant donne les épaisseurs de chaussée calculées pour différents cas de figures correspondant aux classes de trafics déjà définis et à des charges à l'essieu de 3,1 – 5,4 – 11,2 – 13,0 – 17,9 – 31,2 tonnes.

P (Tonne)	Nombre de véhicules de plus de 3 tonnes par jour				
	15	45	150	450	1500
3,1	8	9	10	11	13
5,4	9	11	12	14	16
11,2	12	14	17	19	22
13,0	12	15	18	20	23
17,9	14	17	20	23	27
31,2	17	21	26	30	34

Tableau 13 : Epaisseur du corps de chaussé pour par la formule CBR corrigée de

PELTIER

III-4/ ETUDE FINANCIERE DE LA SOLUTION PROPOSEE

Dans la mesure où les expériences pratiques réalisées en construction routière avec les produits consolid n'existent pas en Afrique tropicale, il ne serait pas possible dans ce cas d'étude de justifier une quelconque réduction des épaisseurs trouvées. Pourtant, les résistances croissantes avec le temps devraient en toute logique rendre possible cette alternative. Ces valeurs constitueront cependant les limites pour des raisons purement sécuritaires.

L'étude financière reposera donc sur l'exemple d'une chaussée ayant les caractéristiques suivantes :

- Largeur : 7 m,
- Accotements : 2 m (1 m de part et d'autre de la chaussée),
- Longueur : 1000 m
- Epaisseur corps de chaussée : 0,30 m

Les prix sont donnés en francs CFA.

III-4-1/ Devis estimatif du corps de chaussée traité selon la formulation 70A30LCSD2

Le volume du corps de chaussée compacté est :

$$V_0 = (7+2) \times 0,30 \times 1000 = 2\,700 \text{ m}^3$$

En prenant en compte un coefficient de foisonnement de 0,3 la quantité de matériau (70% argile + 30% latérite) est :

$$V_1 = 1,3 \times 2700 = 3\,510 \text{ m}^3$$

La masse de matériau (argile + latérite) correspondante est, en supposant une densité de 2000 kg/m^3 :

$$M_1 = 2000 \times 3510 = 7\,020\,000 \text{ kg} = 7\,020 \text{ tonnes}$$

Le volume de latérite est :

$$M_L = 0,3 \times 3510 = 1\,053 \text{ m}^3$$

Le volume d'argile est :

$$M_A = 0,7 \times 3510 = 2\,457 \text{ m}^3$$

En supposant une teneur en eau naturelle du mélange de 3%, la teneur en eau de compactage étant de 10,30%, il faudrait ajouter une quantité d'eau (M_{eau}) correspondant à 6,7% :

$$M_{\text{eau}} = 0,067 \times 3510 = 235 \text{ m}^3$$

Le volume de consolid 444 nécessaire pour une dose de $0,8 \text{ litre/m}^3$ est :

$$V_{\text{c444}} = 0,8 \times 3510 = 2\,808 \text{ litres} = 2,808 \text{ m}^3$$

La masse de solidry nécessaire pour un dosage à 2% est :

$$V_{\text{SD}} = 0,02 \times 7020000 = 140\,400 \text{ kg}$$

Le tableau suivant donne les coûts des matériaux utilisées.

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Latérite	M ³	1 053	13 800	14 531 400
Transport latérite	km.m ³	10×1053=10530	52	547 560
Eau	M ³	235,17	586,37	137 897
Total				15 216 857
Consolid 444	litre	2808		
Solidry	tonne	140,4		
Montant total				

Tableau 14 : Devis estimatif du corps de chaussée traité selon la formulation
70A30LCSD2

NB : Ce devis est fait sous réserve de l'obtention des prix des produits consolid.

III-4-2/ Devis estimatif du corps de chaussée réalisé en latérite

La latérite de la carrière de Dakhar Mbaye est utilisé à titre indicatif. En prenant les mêmes dimensions que pour le cas du traitement, le volume de latérite est égal à $V_1 = 3510 \text{ m}^3$.

La teneur en eau de compactage étant de 8%, en supposant une teneur en eau naturelle de 3%. La quantité d'eau à ajouter pour le compactage est :

$$V_{\text{eau}} = 3510 \times (0,08 - 0,03) = 175,5 \text{ m}^3$$

Le tableau suivant donne les coûts des matériaux utilisées.

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Latérite	M ³	3 510	13 800	48 438 000
Transport latérite	Km.m ³	10×3510=35100	52	1 825 200
Eau	M ³	175,5	586,37	102 908
Montant total				50 366 108

Tableau 15 : Devis estimatif du corps de chaussée en latérite

III-4-3/ Devis estimatif du corps de chaussée traité au ciment

Les dimensions précédentes sont conservées et le traitement est fait sur une latérite de CBR = 50 à raison de 3%. La teneur en eau de compactage de la latérite de la carrière de Dakhar Mbaye est utilisée pour ce cas. Les coûts de transport du ciment seront négligés dans la mesure où la zone concernée est proche d'une cimenterie.

La masse de ciment est :

$$M_c = 0,03 \times 7020 = 210 \text{ tonnes}$$

Le tableau suivant donne les coûts des matériaux utilisées.

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Latérite	M ³	3 510	13 800	48 438 000
Transport latérite	Km.m ³	10×3510=35100	52	1 825 200
Eau	M ³	175,5	586,37	102 908
Ciment	tonne	210,6	49 200	10 361 520
Montant total				60 727 628

Tableau 16 : Devis estimatif du corps de chaussée traité à 3% de ciment

CONCLUSION

CONCLUSION

Les matériaux de corps de chaussée doivent satisfaire à divers critères de performances que les recherches et les expériences pratiquées dans le domaine de la construction routière ont permis de répertorier sous formes de normes. Il peuvent à l'état naturel, présenter des caractéristiques suffisantes pour justifier leur mise en œuvre dans un corps de chaussée ; dans d'autres cas, et ils ne sont pas rares, les matériaux ne peuvent à eux seuls mobiliser toutes les caractéristiques exigées à cette fin ; c'est là que le recours au traitement est nécessaire.

L'étude menée dans le cadre de ce projet a mis en exergue un procédé de traitement des sols qui permet l'intégration d'une grande variété de sols dans la mis en œuvre des couches porteuses des routes. Les produits consolid qui trouvent une kyrielle de domaines d'application avec des objectifs aussi variés, ont permis l'amélioration d'un sol de faibles performances rendant possible son utilisation dans des proportions assez importantes. Le sable argileux de Diamniadio, testé dans cette étude, de part son comportement, est jusqu'ici inapte à la bonne tenue d'une route tant sur le plan mécanique que physique ; amélioré mécaniquement par l'adjonction de la latérite de la carrière de Dakhar Mbaye selon la formulation 70% d'argile + 30% de latérite , il a ensuite été traité aux produits consolid. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec l'ajout de consolid 444 et de solidry respectivement à raison de 0,8 litre/m³ et 2%. Les valeurs du CBR sont passées de 2 à 17 par amélioration mécanique, puis une majoration jusqu'à 63 et 84 (à 95% et 98% de l'OPM) par le traitement ; les problèmes liés à la tenue à l'eau du matériau sont résolus dans la mesure où la succion par capillarité (4% après 96 heures d'imbibition) et le gonflement (0,03% à

25 coups après 96 heures d'imbibition) sont faibles, traduisant le fait que le matériau est devenu presque imperméable. Les résultats de cette étude peuvent être jugés satisfaisants surtout en vue de l'utilisation de la formulation en couche de fondation d'une chaussée ou, mieux encore, en couche d'amélioration d'une chaussée en terre. Il peut être prévu un revêtement juste pour résister à l'usure de la chaussée par l'effet des pneus des véhicules.

La suite de ce travail devrait donc consister en l'application pratique de la solution proposée pour avoir la confirmation ou non des résultats expérimentaux. Mais il ne faudrait pas oublier qu'en tout état de cause, le choix d'un type de traitement dans un projet routier se fera en tenant compte des coûts induits par les différentes méthodes envisageables et des performances de chacune d'elles. Aussi, nous ne prétendons nullement pas que les produits consolid devraient avoir la primauté en matière de traitement de sols. L'aspect économique devra être bien étudié avant toute prise de décision.

Pour une utilisation rationnelle des produits consolid et en vue de l'obtention des meilleurs résultats possibles, quelques recommandations seront faites :

- Réaliser une planche d'essai avec la formulation proposée,
- Expérimenter les produits consolid sur d'autres types de sols, surtout ceux dont les caractéristiques font que leur usage est jusqu'ici déconseillé en construction routière, et en particulier dans le corps de chaussée,
- Etablir un catalogue de dimensionnement des chaussées traitées aux produits consolid.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 01 Documents et revues sur les produits consolid
- 02 SECRETARIAT D'ETAT AUX AFFAIRES ETRANGERES ; Manuel sur les routes dans les zones tropicales et désertiques , tome 2 ; BCEOM – CEBTP ; 1972.
- 03 SECRETARIAT D'ETAT AUX AFFAIRES ETRANGERES, CHARGE DE LA COOPERATION ; Guide pratique de dimensionnement des chaussée dans les pays tropicaux ; CEBTP ; réimprimé en 1984.
- 04 SECRETARIAT D'ETAT AUX AFFAIRES ETRANGERES, CHARGE DE LA COOPERATION ; Emploi des sols fins dans les travaux routiers; CEBTP ; 1972.
- 05 AASHTO ; Guide for design of pavement structures ; 1972.
- 06 Notes de cours de routes I et II.
- 07 Notes de cours de Mécaniques des sols I et II.

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ABREVIATIONS

AASHTO : American Association of State Highways and Transportation Officials

AFNOR: Association Française de NORmalisation

ASTM : American Standard for Testing of Materials

C444 : consolid 444

CBR: Californian Bearing Ratio ou Indice de portance Californien

CEBTP : Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics

CX : conservex

LL : Limite de liquidité

LP : Limite de plasticité

IP : Indice de plasticité

OPM : Optimum Proctor Modifié

SD : solidry

USCS : Unified Soil Classification System

W_{OPM} : teneur en eau à l'optimum Proctor modifié

γ_{dmax} : densité sèche maximale

γ_h : densité humide

LISTE DES ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE I : Essais d'identification de la latérite de Dakhar Mbaye

ANNEXE II : Essais d'amélioration mécanique du sable argileux de Diamniadio

ANNEXE III : Essais de traitement du mélange de 70% de sable argileux et de 30% de latérite (70A30L) aux produits consolid :

- Proctor modifié
- CBR

ANNEXE IV : Essai de succion capillaire

ANNEXE I :

ESSAIS D'IDENTIFICATION DE LA LATERITE DE DAKHAR

MBAYE

ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE A SEC

Caractéristiques du matériau:	description: Latérite
	provenance: Carrière de Dakhar Mbaye
	remarques:

PARTIE GROSSIERE

masse sol sec (g): 9536

Tamis		Refus		% Refus	% Passant	% Passant
Pouces	(mm)	Partiel	Cumulé	Cumulé	Cumulé	Reporte
3"	75.000	0	0	0.00	100.00	100.00
2"	50.000	0	0	0.00	100.00	100.00
1 1/2"	37.500	82	82	0.86	99.14	99.14
1"	25.000	236	318	3.33	96.67	96.67
3/4"	19.000	400	718	7.53	92.47	92.47
3/8"	9.500	2140	2858	29.97	70.03	70.03
# 4	4.750	2955	5813	60.96	39.04	39.04
Residu		3692	9505			

Pertes	Poids (g)	%
	31	0.33

PARTIE FINE

masse sol sec (g): 1241

Tamis		Refus		% Refus	% Passant	% Passant
Pouces	(mm)	Partiel	Cumulé	Cumulé	Cumulé	Reporte
# 10	2.000	641	641	51.65	48.35	18.88
# 20	0.850	167	808	65.11	34.89	13.62
# 40	0.425	92	900	72.52	27.48	10.73
# 60	0.250	69	969	78.08	21.92	8.56
# 100	0.150	64	1033	83.24	16.76	6.54
# 200	0.075	175	1208	97.34	2.66	1.04
Residu		20	1228			

Pertes	Poids (g)	%
	13	1.05

ESSAI DE COMPACTAGE

Caractéristiques du matériau:	description: Latèrite
	provenance: Carrière de Dakhar Mbaye
	remarques:

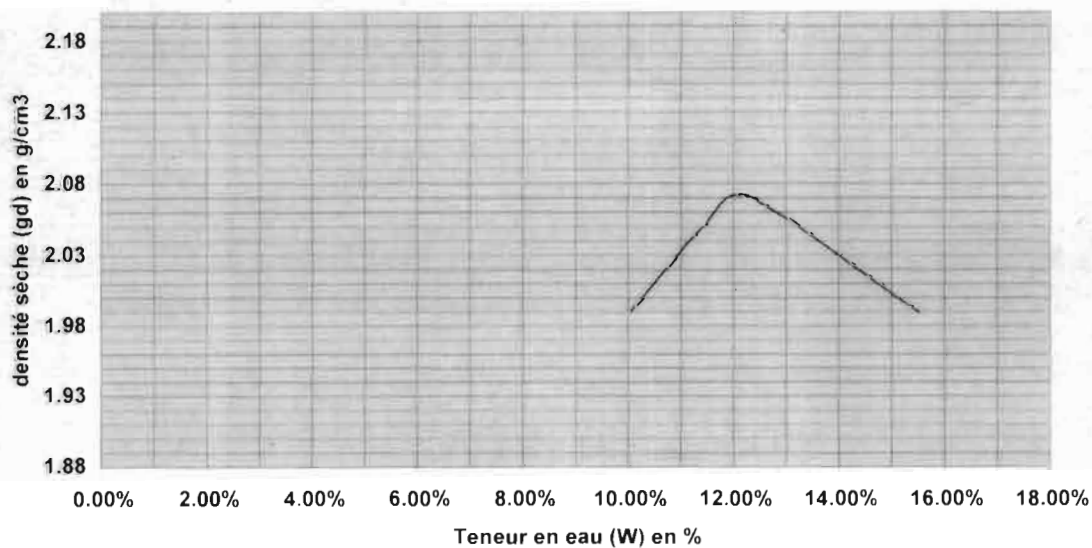
Type d'essai: Proctor modifié**% passant tamis 20mm :** 92,47**moule:** diamètre:15,2cm ; **hauteur:** 11,6cm**marteau:** poids: 4500g; **hauteur de chute:** 45,7cm**Nombre de couches:** 5 ; **Nombre de coups par couche:** 56

N° ESSAI	1	2	3	4
% approximatif d'eau ajoutée	6%	8%	10%	12%
volume du moule V(cm ³)	2105	2105	2105	2105
poids du sol humide + moule: W1(g)	10710	10908	10994	10938
poids du moule Tare(g)	6100	6100	6100	6100
poids du sol humide WT=W1-Tare (g)	4610	4808	4894	4838
densité humide $\gamma_t = Wt/V$ (g/cm ³)	2.19	2.28	2.32	2.30

réceptif n°	GS2	B11	B10	K7
Poids du réceptif tare(g)	98.00	64.32	63.12	65.57
poids du sol humide + réceptif w1(g)	299.69	275.28	324.69	264.64
poids du sol sec+ réceptif w2(g)	281.28	253.65	296.07	237.87
poids de l'eau Ww= W1-W2 (g)	18.41	21.63	28.62	26.77
poids du sol sec Ws=W2-tare (g)	183.28	189.33	232.95	172.30
teneur en eau w= Ww/Ws (g)	10.04%	11.42%	12.29%	15.54%
densité sèche $\gamma_d = \gamma_t/(1+w)$ (g/cm ³)	1.99	2.05	2.07	1.99

$$\gamma_{d\text{ opm}} = 2,07 \text{ g/cm}^3$$

$$W_{\text{ opm}} = 12.10\%$$

COURBE DE COMPACTAGE DE LA LATERITE NON TRAITEE

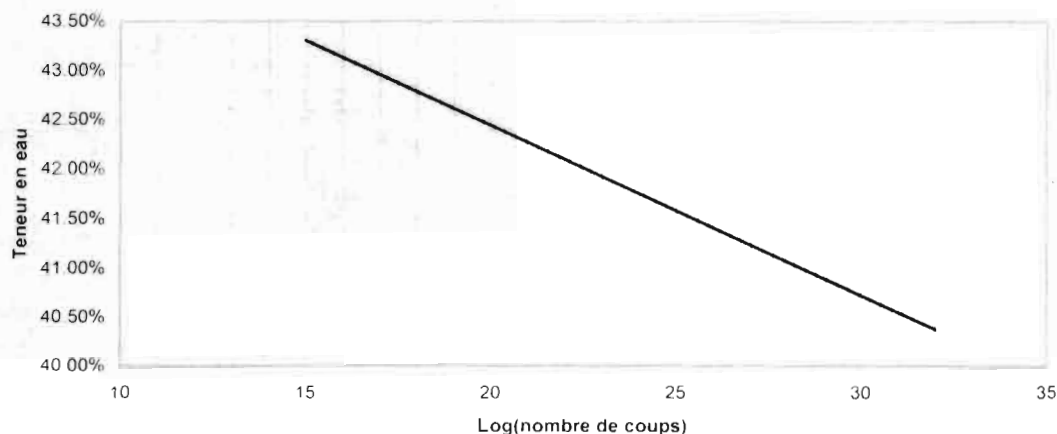
LIMITES D'ATTERBERG

<u>Caractéristiques du matériau:</u>	<u>description:</u>	Latérite
	<u>provenance:</u>	Carrière de Dakhar Mbaye
	<u>remarques:</u>	

Limite de liquidité

Poids total humide (g)	7.64	7.89	7.79	7.91	7.85
Poids total sec (g)	6.07	6.22	6.13	6.20	6.14
Numéro de la tare	J9	M'	N'	G'	O'
tare (g)	2.18	2.15	2.19	2.21	2.17
poids de l'eau (g)	1.57	1.67	1.66	1.71	1.71
poids net sec (g)	3.89	4.07	3.94	3.99	3.97
teneur en eau	40.36%	41.03%	42.13%	42.86%	43.07%
Nombre de coups	32	27	23	19	15

COURBE DE VARIATION DE LA TENEUR EN EAU EN FONCTION DU NOMBRE DE COUPS

Limite de plasticité

Poids total humide (g)	7.38	7.42	7.32
Poids total sec (g)	6.24	6.33	6.25
Numéro de la tare	K'	S7	J3
tare (g)	2.21	2.19	2.17
poids de l'eau (g)	1.14	1.09	1.07
poids net sec (g)	4.03	4.14	4.08
teneur en eau	28.29%	26.33%	26.23%
teneur en eau moyenne	26.95%		

LL	41.51%
LP	26.95%
IP	14.56%

POIDS SPECIFIQUE

<u>Caractéristiques du matériau:</u>	<u>description:</u> Latèrite
	<u>provenance:</u> Carrière de Dakhar Mbaye
	<u>remarques:</u>

<u>Préparation de l'échantillon:</u> trempage du passant au tamis 40 (0,425 mm)

ESSAI N°		1	2	3
PYCNOMETRE N°		A1	291	2
VOLUME DU PYCNOMETRE		250	250	250
Méthode de désaération (vide, ébullition)		vide	vide	vide
POIDS pycnomètre + eau + sol	Ppes	386.9	382.35	360.23
TEMPERATURE	T	29	29	29
POIDS pycnomètre + eau (à T°C)	Ppe	354.33	349.56	327.78
Réipient d'évaporation n°		B11	B10	K7
POIDS réipient + sol sec		114.45	113.5	115.59
POIDS réipient	Tare	64.69	63.3	66.05
POIDS sol sec	Ps	49.76	50.2	49.54
$V = Ps + Ppe - Ppes$		17.19	17.41	17.09
$\gamma_s \text{ à } T^\circ\text{C} = Ps / V$		2.895	2.883	2.899
Facteur de correction K à T°C (table)		0.99775	0.99775	0.99775
$\gamma_s \text{ à } 20^\circ\text{C} = \gamma_s \text{ à } T^\circ\text{C} * K$		2.888	2.877	2.892
$\gamma_s \text{ moyen (g/cm}^3\text{)}$		2.886		

ESSAI CBR

	<u>description:</u> Latérite
<u>Caractéristiques du matériau:</u>	
	<u>provenance:</u> Carrière de Dakhar Mbaye

ANNEAU DE CHARGE		POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON	
N° (Capacité)		ESSAI : modifié	% passant au tamis
Lecture maximale = 60 kN		méthode (A-B-C-D)	Poids sol humide + moule Pht = 11047
conv. (N/div.) = 0.2		marteau (g) 4500	Poids sol humide Ph = Pht - Tare = 4896
		H de chute (cm) 45.7	Poids unitaire total $\gamma_t = Ph/V = 2.33$
		Nbre couches 5	Teneur en eau moyenne w = 11.46%
		Nbre de coups par couche 56	Poids unitaire sec $\gamma_d = \gamma_t/(1+w) = 2.09$
			Poids sol sec Ps = Ph/(1+w) = 4393
<u>MOULE</u>		<u>APRES DESSICATION</u>	
Numéro : 23		Durée	Poids final humide + moule Phf =
Diamètre 15.2 cm		Température	Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =
Hauteur du sol 11.6 cm			% d'eau évaporée (Peau / Ps) =
Volume du sol 2105 cm ³			
Tare = 6151 g			

Aire du poinçon A = 19,35 cm²

vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min

IMBIBITION					POINÇONNEMENT			
<u>Durée:</u> 96 Heures					<u>Surcharge</u> = 4547 g			
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Efoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
Lun. 29/04/02	10 h	0.00	0.00	0.00%				
Lun. 29/04/02	11 h	0.00	0.00	0.00%	0	0	0	0
Lun. 29/04/02	12 h	0.00	0.00	0.00%	0.5	4.8	489	25
Lun. 29/04/02	14 h	0.00	0.00	0.00%	1	9.0	917	47
Mer. 01/05/02	16H30	0.00	0.00	0.00%	1.5	13.0	1325	68
Jeu. 02/05/02	17H00	0.80	0.80	0.69%	2	18.2	1855	96
Ven. 03/05/02	16H30	0.99	0.99	0.85%	2.5	22.4	2283	118
					3	26.0	2650	137
					4	32.6	3323	172
					5	38.0	3874	200
					7.5	46.2	4709	243
					10	49.8	5076	262
					12.5	53.2	5423	280
Poids final humide + moule Phf = 11194								
Poids eau absorbée (Phf - Pht) = 147								
% d'eau absorbée (Peau / Ps) = 3.35%								

TENEUR EN EAU						RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION	
Réceptif N°	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR			Efoncement	CBR
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur		
	A3G4	IA	4B	B4E2	A2		
Pds hum + tare	352.22	275.00	255.70	340.49	171.90		
Pds sec + tare	317.39	251.61	227.16	304.93	153.42		
Pds eau	34.83	23.39	28.54	35.56	18.48		
tare	31.83	33.53	34.32	33.20	29.71	2,5 mm	168
Pds sol sec	285.56	218.08	192.84	271.73	123.71	7,5 mm	190
teneur en eau	12.20%	10.73%	14.80%	13.09%	14.94%		
moyenne w	11.46%		14.27%				
						CBR =	190
							Densité sèche = 2.09
							Compacité = 100.81%
							Teneur en eau finale = 14.27%

ESSAI CBR

	<u>description:</u> Latérite
<u>Caractéristiques du matériau:</u>	
	<u>provenance:</u> Carrière de Dakhar Mbaye

ANNEAU DE CHARGE		POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON	
N° (Capacité)		ESSAI : modifié	% passant au tamis
Lecture maximale = 60 kN		méthode (A-B-C-D)	Poids sol humide + moule Pht = 10642
conv. (N/div.) = 0.2		marteau (g)	4500 Poids sol humide Ph = Pht - Tare = 4558
		H de chute (cm)	45.7 Poids unitaire total $\gamma_t = Ph/V = 2.17$
		Nbre couches	5 Teneur en eau moyenne w = 11.17%
		Nbre de coups par couche	25 Poids unitaire sec $\gamma_d = \gamma_t/(1+w) = 1.95$
			Poids sol sec Ps = Ph/(1+w) = 4100
<u>MOULE</u>		<u>APRES DESSICCATION</u>	
Numéro :	15	Durée	Poids final humide + moule Phf =
Diamètre	15.2 cm	Température	Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =
Hauteur du sol	11.6 cm		% d'eau évaporée (Peau / Ps) =
Volume du sol	2105 cm ³		
Tare =	6084 g		

Aire du poinçon A = 19,35 cm²

vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min

IMBIBITION					POINÇONNEMENT			
<u>Durée:</u> 96 Heures					<u>Surcharge</u> = 4541 g			
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Enfoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
Lun. 29/04/02	10 h	0.00	0.00	0.00%				
Lun. 29/04/02	11 h	0.00	0.00	0.00%	0	0	0	0
Lun. 29/04/02	12 h	0.00	0.00	0.00%	0.5	4.0	408	21
Lun. 29/04/02	14 h	0.00	0.00	0.00%	1	5.8	591	31
Mer. 01/05/02	16H30	0.00	0.00	0.00%	1.5	6.4	652	34
Jeu. 02/05/02	17H00	0.80	0.80	0.69%	2	8.6	877	45
Ven. 03/05/02	16H30	1.01	1.01	0.87%	2.5	9.8	999	52
					3	10.6	1081	56
					4	12.2	1244	64
					5	14.8	1509	78
					7.5	16.4	1672	86
					10	19.0	1937	100
					12.5	21.6	2202	114
Poids final humide + moule		Phf =	10868					
Poids eau absorbée		(Phf - Pht) =	226					
% d'eau absorbée		(Peau / Ps) =	5.51%					

TENEUR EN EAU						RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION	
Récipient N°	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR			Densité sèche =	Compacité =
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur		
IA	A7	A7	A3G4	IA		1.95	94.10%
Pds hum + tare	275.00	123.85	252.33	222.70	316.65		Teneur en eau finale = 15.33%
Pds sec + tare	251.61	114.45	222.79	198.05	278.56		
Pds eau	23.39	9.40	29.54	24.65	38.09		
tare	33.53	33.47	33.57	31.75	33.50	2,5 mm	73
Pds sol sec	218.08	80.98	189.22	166.30	245.06	7,5 mm	74
teneur en eau	10.73%	11.61%	15.61%	14.82%	15.54%		
moyenne w	11.17%		15.33%			CBR =	74

ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	<u>description:</u> Latérite
	<u>provenance:</u> Carrière de Dakhar Mbaye

ANNEAU DE CHARGE		POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON	
N° (Capacité)		ESSAI : modifié	% passant au tamis
Lecture maximale = 60 kN		méthode (A-B-C-D)	Poids sol humide + moule Pht = 10441
conv. (kN/div.) = 0.2		marteau (g) 4500	Poids sol humide Ph = Pht - Tare = 4214
		H de chute (cm) 45.7	Poids unitaire total $\gamma_t = Ph/V = 2.00$
		Nbre couches 5	Teneur en eau moyenne w = 11.30%
		Nbre de coups par couche 10	Poids unitaire sec $\gamma_d = \gamma_t/(1+w) = 1.80$
			Poids sol sec Ps = Ph/(1+w) = 3786
<u>MOULE</u>		<u>APRES DESSICATION</u>	
Numéro : 3		Durée	Poids final humide + moule Phf =
Diamètre 15.2 cm		Température	Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =
Hauteur du sol 11.6 cm			% d'eau évaporée (Peau / Ps) =
Volume du sol 2105 cm ³			
Tare = 6227 g			

Aire du poinçon A = 19,35 cm²

vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min

<u>IMBIBITION</u>					<u>POINÇONNEMENT</u>			
<u>Durée:</u> 96 Heures					<u>Surcharge =</u> 4545 g			
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Enfoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
				0.00%				
				0.00%	0	0	0	0
				0.00%	0.5	0.3	31	2
				0.00%	1	0.6	61	3
				0.00%	1.5	1.0	102	5
				0.00%	2	1.2	122	6
				0.00%	2.5	1.6	163	8
					3	1.8	183	9
					4	2.2	224	12
					5	2.8	285	15
Poids final humide + moule Phf =			10768		7.5	3.8	387	20
Poids eau absorbée (Phf - Pht) =			327		10	4.8	489	25
% d'eau absorbée (Peau / Ps) =			8.64%		12.5	5.4	550	28

<u>TENEUR EN EAU</u>						<u>RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION</u>	
Réceptif N°	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR			Densité sèche =	1.80
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur		
S3		A1	A1	S3	A2	Compacité =	86.89%
Pds hum + tare	137.35	170.86	145.39	127.64	144.55	Teneur en eau finale =	16.91%
Pds sec + tare	127.10	155.80	129.33	114.00	126.89		
Pds eau	10.25	15.06	16.06	13.64	17.66	Enfoncement	CBR
tare	30.70	30.00	30.00	30.70	29.71	2,5 mm	12
Pds sol sec	96.40	125.80	99.33	83.30	97.18	7,5 mm	14
teneur en eau	10.63%	11.97%	16.17%	16.37%	18.17%		
moyenne w	11.30%		16.91%			CBR =	14

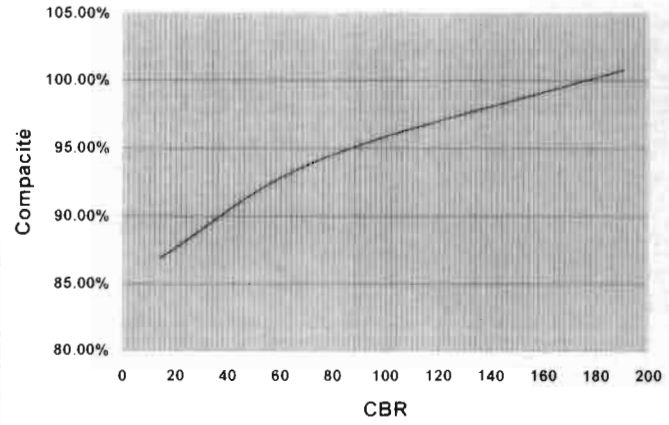
ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	description: Latérite
	provenance: Carrière de Dakhar Mbaye

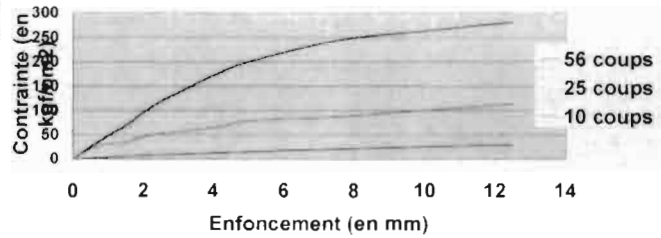
	CBR	COMPACITE
10 coups	14	86.89%
25 coups	74	94.10%
56 coups	190	100.81%
	87	95.00%
	176	100.00%

Enf. (mm)	Contrainte (en kgf/cm ²)		
	56 CPS	25 CPS	10 CPS
0	0	0	0
0.5	25	21	2
1	47	31	3
1.5	68	34	5
2	96	45	6
2.5	118	52	8
3	137	56	9
4	172	64	12
5	200	78	15
7.5	243	86	20
10	262	100	25
12.5	280	114	28

COURBE CBR EN FONCTION DE LA COMPACITE
70A30L



COURBE DE POINCONNEMENT
70A30L



ANNEXE II :

ESSAIS D'AMELIORATION MECANIQUE DU SABLE ARGILEUX DE DIAMNIADIO

ESSAI DE COMPACTAGE

Caractéristiques du matériau:	description: 80% Argile + 20% Latérite provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)
--------------------------------------	--

Type d'essai: Proctor modifié

% passant tamis 20mm :

moule: diamètre:15,2cm ; **hauteur:** 11,6cm

marteau: poids: 4500g; **hauteur de chute:** 45,7cm

Nombre de couches: 5 ; **Nombre de coups par couche:** 56

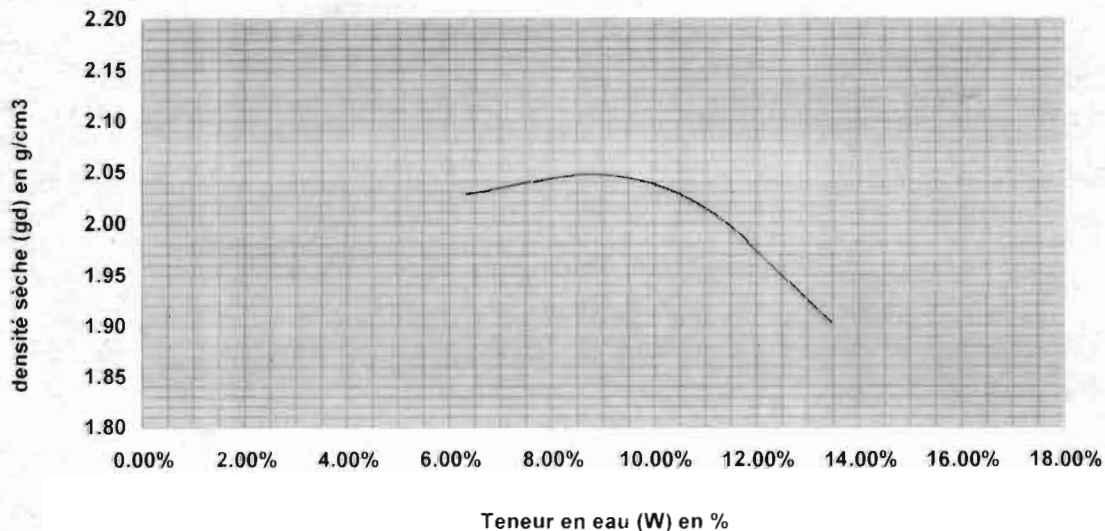
N° ESSAI	1	2	3	4
% approximatif d'eau ajoutée	4%	6%	8%	10%
volume du moule V(cm ³)	2105	2105	2105	2105
poids du sol humide + moule: W1(g)	10765	10923	10929	10770
poids du moule Tare(g)	6227	6227	6227	6227
poids du sol humide WT=W1-Tare (g)	4538	4696	4702	4543
densité humide $\gamma_t=Wt/V$ (g/cm ³)	2.16	2.23	2.23	2.16

réceptif n°	B95	B1	2	CI1
Poids du réceptif tare(g)	78.03	28.63	63.34	76.91
poids du sol humide + réceptif w1(g)	185.36	123.21	160.05	152.82
poids du sol sec+ réceptif w2(g)	179.00	115.42	150.39	143.82
poids de l'eau Ww= W1-W2 (g)	6.36	7.79	9.66	9.00
poids du sol sec Ws=W2-tare (g)	100.97	86.79	87.05	66.91
teneur en eau w= Ww/Ws (g)	6.30%	8.98%	11.10%	13.45%
densité sèche $\gamma_d = \gamma_t/(1+w)$ (g/cm ³)	2.03	2.05	2.01	1.90

$\gamma_d \text{ opm} = 2,05 \text{ g/cm}^3$

$W \text{ opm} = 8.80\%$

COURBE DE COMPACTAGE DU MELANGE 80% D'ARGILE + 20% DE LATERITE



ESSAI DE COMPACTAGE

<u>Caractéristiques du matériau:</u>	<u>description:</u> 70% Argile + 30% Latérite <u>provenance:</u> Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)
--------------------------------------	--

Type d'essai: Proctor modifié% passant tamis 20mm :moule: diamètre: 15,2cm ; hauteur: 11,6cmmarteau: poids: 4500g; hauteur de chute: 45,7cmNombre de couches: 5 ; Nombre de coups par couche: 56

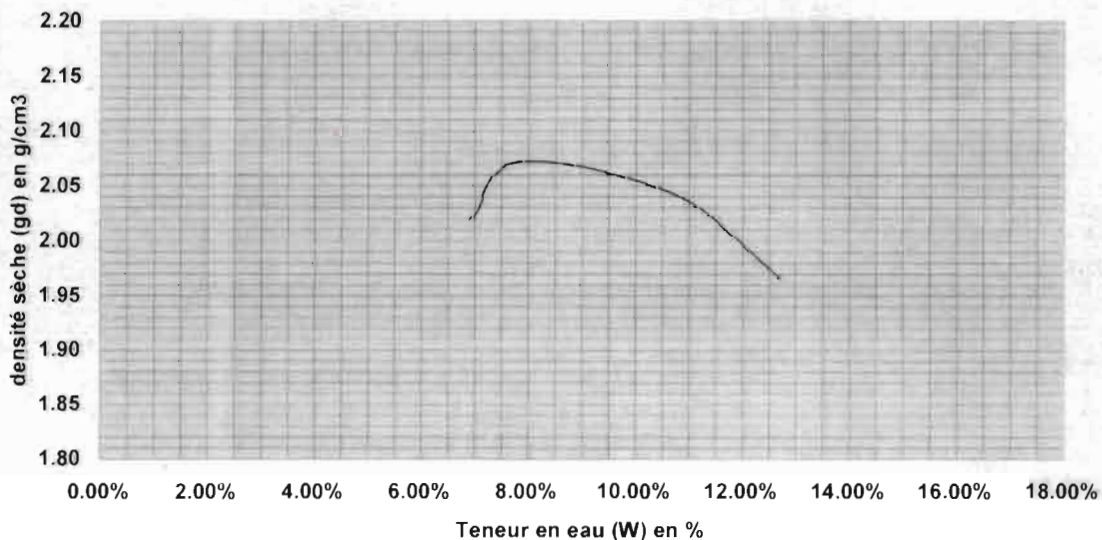
N° ESSAI	1	2	3	4
% approximatif d'eau ajoutée	4%	6%	8%	10%
volume du moule V(cm ³)	2105	2105	2105	2105
poids du sol humide + moule: W1(g)	10553	10712	10769	10673
poids du moule Tare(g)	6009	6009	6009	6009
poids du sol humide WT=W1-Tare (g)	4544	4703	4760	4664
densité humide $\gamma_t = WT/V$ (g/cm ³)	2.16	2.23	2.26	2.22

réceptif n°	4B	B4E2	IA	A7
Poids du réceptif tare(g)	34.20	33.15	33.55	33.50
poids du sol humide + réceptif w1(g)	267.28	241.19	235.90	161.32
poids du sol sec+ réceptif w2(g)	252.17	226.06	216.27	146.89
poids de l'eau Ww= W1-W2 (g)	15.11	15.13	19.63	14.43
poids du sol sec Ws=W2-tare (g)	217.97	192.91	182.72	113.39
teneur en eau w= Ww/Ws (g)	6.93%	7.84%	10.74%	12.73%
densité sèche $\gamma_d = \gamma_t / (1+w)$ (g/cm ³)	2.02	2.07	2.04	1.97

$$\gamma_{d\text{ opm}} = 2.07 \text{ g/cm}^3$$

$$W_{\text{ opm}} = 8\%$$

COURBE DE COMPACTAGE DE L'ARGILE + 30% DE LATERITE



ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	description: 70% Argile + 30% Latérite
	provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

ANNEAU DE CHARGE				POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON				
N° (Capacité)	ESSAI : modifié			% passant au tamis				
Lecture maximale = 60 kN	méthode (A-B-C-D)			Poids sol humide + moule	Ph = Pht - Tare =	10792		
conv. (N/div.) = 0.2	marteau (g)			4500	Poids sol humide	Ph = Pht - Tare =	4641	
	H de chute (cm)			45.7	Poids unitaire total	$\gamma_t = Ph/V =$	2.20	
	Nbre couches			5	Teneur en eau moyenne	w =	10.47%	
	Nbre de coups par couche			56	Poids unitaire sec	$\gamma_d = \gamma_t / (1+w) =$	2.00	
	Poids sol sec				Poids sol sec	Ps = Ph/(1+w) =	4201	
MOULE				APRES DESSICATION				
Numéro : 23	Durée			Poids final humide + moule Phf =				
Diamètre 15.2 cm	Température			Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =				
Hauteur du sol 11.6 cm				% d'eau évaporée (Peau / Ps) =				
Volume du sol 2105 cm ³								
Tare = 6151 g								
Aire du poinçon A = 19,35 cm ²				vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min				
IMBIBITION				POINÇONNEMENT				
Durée 96 Heures				Surcharge = 4534 g				
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Efoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
			0.00	0.00%				
			0.00	0.00%	0	0	0	0
			0.00	0.00%	0.5	0.6	61	3
			0.00	0.00%	1	1.2	122	6
			0.00	0.00%	1.5	1.8	183	9
	72 H	0.70	0.70	0.60%	2	2.2	224	12
	96 H	0.73	0.73	0.63%	2.5	2.8	285	15
					3	3.2	326	17
					4	3.8	387	20
					5	4.4	449	23
					7.5	5.4	550	28
					10	6.4	652	34
					12.5	7.4	754	39
Poids final humide + moule Phf = 10969								
Poids eau absorbée (Phf - Pht) = 177								
% d'eau absorbée (Peau / Ps) = 4.21%								
TENEUR EN EAU				RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION				
		COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR				
		Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur		
Récepteur N°	4B	A7	V°5	B2°	B17			
Pds hum + tare	152.36	143.73	443.23	490.40	481.76			
Pds sec + tare	140.83	133.60	395.33	440.39	428.43			
Pds eau	11.53	10.13	47.90	50.01	53.33	Efoncement	CBR	
tare	34.20	33.50	62.42	64.32	61.67	2,5 mm	21	
Pds sol sec	106.63	100.10	332.91	376.07	366.76	5,0 mm	22	
teneur en eau	10.81%	10.12%	14.39%	13.30%	14.54%			
moyenne w	10.47%		14.08%			CBR = 22		
						Densité sèche = 2.00		
						Compacité = 96.42%		
						Teneur en eau finale = 14.08%		

ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	description: 70% Argile + 30% Latérite
	provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

ANNEAU DE CHARGE				POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON				
N° (Capacité)	ESSAI modifié méthode (A-B-C-D)			% passant au tamis	Poids sol humide + moule Ph _t = 10514			
Lecture maximale = 60 kN	marteau (g) 4500			Poids sol humide Ph = Ph _t - Tare = 4405				
conv. (N/div.) = 0.2	H de chute (cm) 45.7			Poids unitaire total $\gamma_t = Ph/V = 2.09$				
MOULE				Teneur en eau moyenne w = 9.95%				
Numéro : 3	Nbre couches 5			Poids unitaire sec $\gamma_d = \gamma_t/(1+w) = 1.90$				
Diamètre 15.2 cm	Nbre de coups par couche 25			Poids sol sec Ps = Ph/(1+w) = 4006				
Hauteur du sol 11.6 cm	Durée			APRES DESSICATION				
Volume du sol 2105 cm ³				Poids final humide + moule Ph _f =				
Tare = 6109 g	Température			Poids eau évaporée Peau = Ph _f - Ph _t =				
				% d'eau évaporée (Peau / Ps) =				
Aire du poinçon A = 19,35 cm ²				vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min				
IMBIBITION				POINÇONNEMENT				
Durée: 96 Heures				Surcharge = 4542 g				
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Efoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
			0.00	0.00%				
			0.00	0.00%	0	0	0	0
			0.00	0.00%	0.5	0.6	61	3
			0.00	0.00%	1	0.8	82	4
			0.00	0.00%	1.5	1.0	102	5
		0.88	0.88	0.76%	2	1.1	112	6
		0.90	0.90	0.78%	2.5	1.2	122	6
					3	1.4	143	7
					4	1.5	153	8
					5	1.7	173	9
Poids final humide + moule Ph _f = 10772					7.5	2.2	224	12
Poids eau absorbée (Ph _f - Ph _t) = 258					10	2.6	265	14
% d'eau absorbée (Peau / Ps) = 6.44%					12.5	2.8	285	15
TENEUR EN EAU					RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION			
		COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR				
		Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur	Densité sèche = 1.90	
Récipient N°	A7	B1	4B	A7	B4E2	Compacité = 91.95%		
Pds hum + tare	143.73	149.78	360.77	352.85	389.05	Teneur en eau finale = 14.22%		
Pds sec + tare	133.60	138.98	315.33	317.06	345.72			
Pds eau	10.13	10.80	45.44	35.79	43.33			
tare	33.50	28.63	34.20	33.50	33.15			
Pds sol sec	100.10	110.35	281.13	283.56	312.57			
teneur en eau	10.12%	9.79%	16.16%	12.62%	13.86%			
moyenne w	9.95%		14.22%			CBR = 9		
						2,5 mm	9	
						5,0 mm	9	

ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	description: 70% Argile + 30% Latérite
	provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

ANNEAU DE CHARGE		POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON						
N° (Capacité)		ESSAI : modofie	% passant au tamis					
Lecture maximale = 60 kN		méthode (A-B-C-D)	Poids sol humide + moule	Pht =	10232			
conv. (kN/div.) = 0.2		marteau (g)	4500	Poids sol humide	Ph = Pht - Tare = 4008			
		H de chute (cm)	45.7	Poids unitaire total	$\gamma_t = Ph/V = 1.90$			
		Nbre couches	5	Teneur en eau moyenne	w = 9.65%			
		Nbre de coups par couche	10	Poids unitaire sec	$\gamma_d = \gamma_t/(1+w) = 1.74$			
				Poids sol sec	Ps = Ph/(1+w) = 3655			
MOULE		APRES DESSICATION						
Numéro :	31	Durée	Poids final humide + moule Phf =					
Diamètre	15.2 cm	Température	Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =					
Hauteur du sol	11.6 cm		% d'eau évaporée (Peau / Ps) =					
Volume du sol	2105 cm ³							
Tare =	6224 g							
Aire du poinçon A = 19,35 cm ²		vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min						
IMBIBITION				POINÇONNEMENT				
Durée: 96 Heures				Surcharge = 4547 g				
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Enfoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
	0 h		0	0.00%				
	1 h		0	0.00%	0	0	0	0
	2 h		0	0.00%	0.5	0.1	10	1
	4 h		0	0.00%	1	0.2	20	1
		1.13	1.13	0.97%	1.5	0.2	20	1
		1.13	1.13	0.97%	2	0.2	20	1
					2.5	0.3	31	2
					3	0.3	31	2
					4	0.4	41	2
					5	0.4	41	2
Poids final humide + moule		Phf =	10772		7.5	0.5	51	3
Poids eau absorbée		(Phf - Pht) =	540		10	0.6	61	3
% d'eau absorbée		(Peau / Ps) =	14.77%		12.5	0.6	61	3
TENEUR EN EAU						RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION		
Réceptif N°	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR			Densité sèche = 1.74 Compacité = 83.89% Teneur en eau finale = 18.95%		
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur			
Pds hum + tare	B1	GS2	B1	A2	A1	Enfoncement CBR 2,5 mm 2 5,0 mm 2		
Pds sec + tare	149.78	300.05	268.65	237.36	254.87			
Pds eau	138.98	282.50	229.57	207.47	220.95	CBR = 2		
tare	10.80	17.55	39.08	29.89	33.92			
Pds sol sec	28.63	98.00	28.63	55.33	30.00			
teneur en eau	110.35	184.50	200.94	152.14	190.95			
moyenne w	9.79%	9.51%	19.45%	19.65%	17.76%			
	9.65%		18.95%					

ESSAI CBR

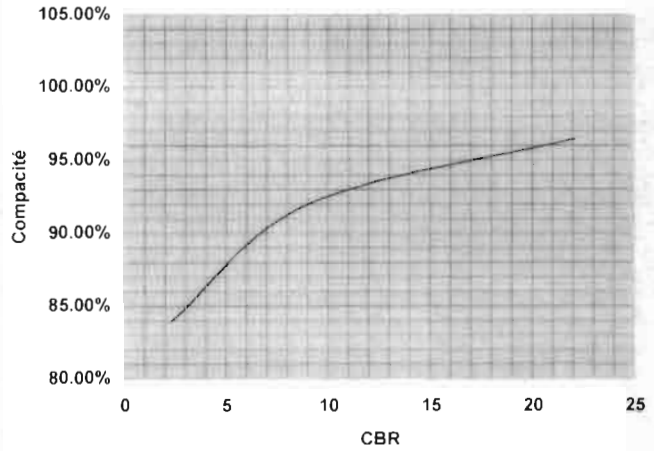
Caractéristiques du matériau:	description: 70% d'Argile + 30% de Latérite
	provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

	CBR	COMPACITE
10 coups	2	83.89%
25 coups	9	91.95%
56 coups	22	96.42%

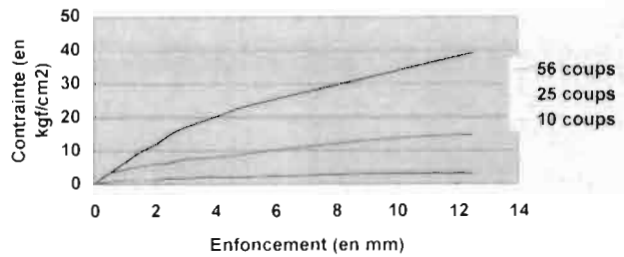
CBR à 95%	17
CBR à 100%	

Enf. (mm)	Contrainte (en kgf/cm ²)		
	56 CPS	25 CPS	10 CPS
0	0	0	0
0.5	3	3	1
1	6	4	1
1.5	9	5	1
2	12	6	1
2.5	15	6	2
3	17	7	2
4	20	8	2
5	23	9	2
7.5	28	12	3
10	34	14	3
12.5	39	15	3

COURBE CBR EN FONCTION DE LA COMPACITE
70A30L



COURBE DE POINCONNEMENT
70A30L



ANNEXE III :

ESSAIS DE TRAITEMENT DU MELANGE DE 70% DE SABLE
ARGILEUX ET DE 30% DE LATERITE (70A30L) AUX

PRODUITS CONSOLID :

- PROCTOR MODIFIE
- CBR

ESSAI DE COMPACTAGE

<u>Caractéristiques du matériau:</u>	<u>description:</u> 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8l/m ³ de consolid 444
	<u>provenance:</u> Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

Type d'essai: Proctor modifié

% passant tamis 20mm:

moule: diamètre:15,2cm ; hauteur: 11,6cm

Nombre de couches: 5 ; Nombre de coups par couche: 56

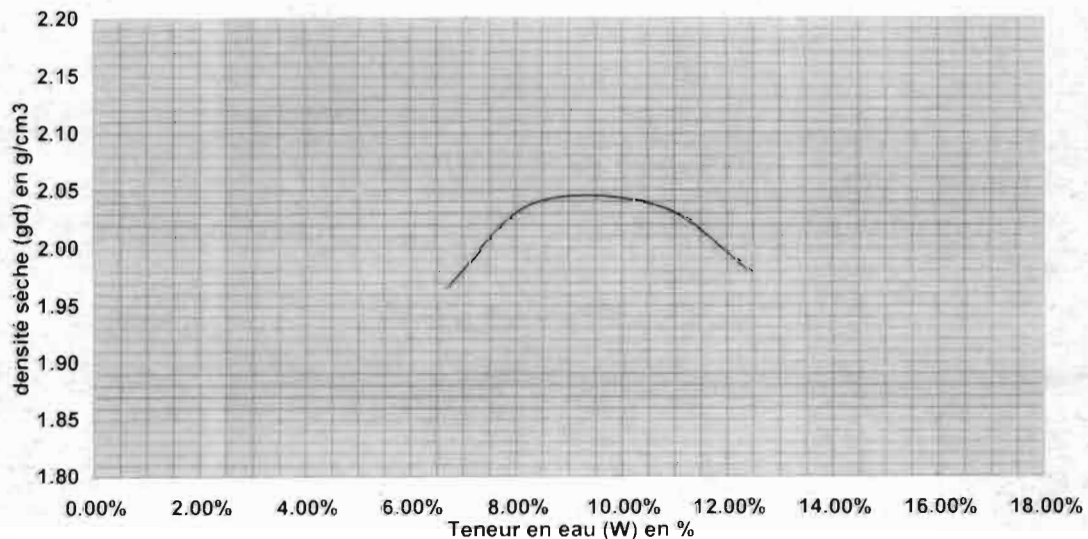
N° ESSAI	1	2	3	4
% approximatif d'eau ajoutée	4%	6%	8%	10%
volume du moule V(cm ³)	2105	2105	2105	2105
poids du sol humide + moule: W1(g)	10628	10864	10962	10901
poids du moule Tare(g)	6217	6217	6217	6217
poids du sol humide WT=W1-Tare (g)	4411	4647	4745	4684
densité humide $\gamma_t = Wt/V$ (g/cm ³)	2.10	2.21	2.25	2.23

réceptif n°	B'2	H1	B17	V''5
Poids du récipient tare(g)	64.32	138.02	61.67	62.42
poids du sol humide + récipient w1(g)	298.26	387.18	298.44	299.44
poids du sol sec+ récipient w2(g)	283.63	368.05	275.51	273.20
poids de l'eau Ww= W1-W2 (g)	14.63	19.13	22.93	26.24
poids du sol sec Ws=W2-tare (g)	219.31	230.03	213.84	210.78
teneur en eau w= Ww/Ws (g)	6.67%	8.32%	10.72%	12.45%
densité sèche $\gamma_d = \gamma_t / (1+w)$ (g/cm ³)	1.96	2.04	2.04	1.98

$$\gamma_d \text{ opm} = 2,05 \text{ g/cm}^3$$

$$W \text{ opm} = 9.30\%$$

COURBE DE COMPACTAGE DU MELANGE 60% D'ARGILE + 30% DE LATÉRITE +
0,8 L/M³ (= 0,04%) DE CONSOLID 444



ESSAI DE COMPACTAGE

<u>Caractéristiques du matériau:</u>	<u>description:</u> 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8l/m ³ de consolid 444 +10l/m ³ de conservex
	<u>provenance:</u> Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

Type d'essai: Proctor modifié

% passant tamis 20mm :

moule: diamètre:15,2cm ; hauteur: 11,6cm

marteau: poids: 4500g; hauteur de chute: 45,7cm

Nombre de couches: 5 ; Nombre de coups par couche: 56

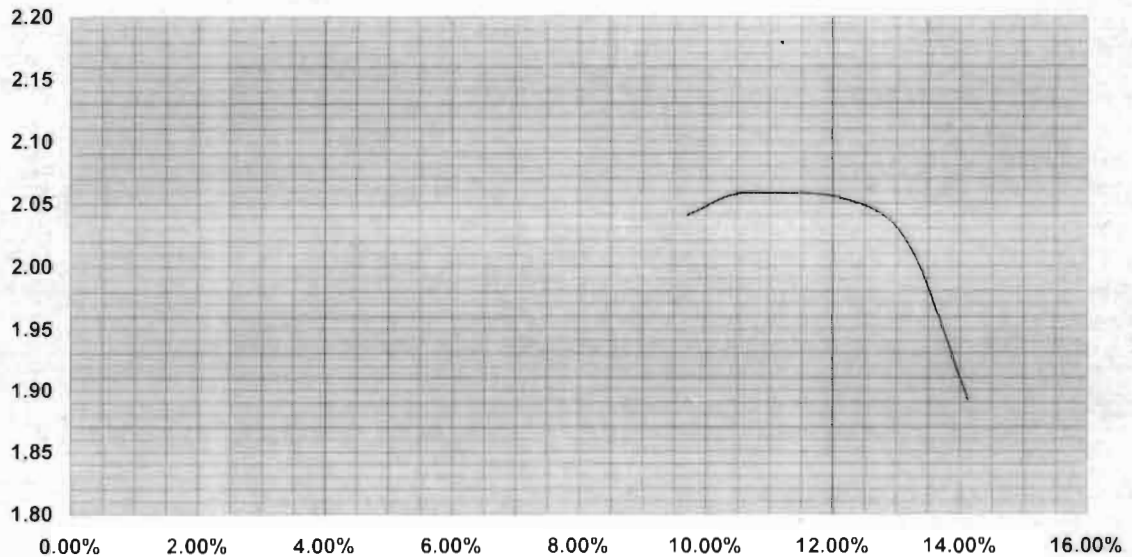
N° ESSAI	1	2	3	4
% approximatif d'eau ajoutée	6%	8%	10%	12%
volume du moule V(cm ³)	2105	2105	2105	2105
poids du sol humide + moule: W1(g)	10723	10812	10847	10556
poids du moule Tare(g)	6010	6010	6010	6010
poids du sol humide WT=W1-Tare (g)	4713	4802	4837	4546
densité humide $\gamma_t=Wt/V$ (g/cm ³)	2.24	2.28	2.30	2.16

réipient n°	B2'	V"5	B5	B11
Poids du réipient tare(g)	64.16	62.30	62.58	62.21
poids du sol humide + réipient w1(g)	540.40	527.19	567.47	585.31
poids du sol sec+ réipient w2(g)	498.24	481.87	509.55	520.54
poids de l'eau Ww= W1-W2 (g)	42.16	45.32	57.92	64.77
poids du sol sec Ws=W2-tare (g)	434.08	419.57	446.97	458.33
teneur en eau w= Ww/Ws (g)	9.71%	10.80%	12.96%	14.13%
densité sèche $\gamma_d= \gamma_t/(1+w)$ (g/cm ³)	2.04	2.06	2.03	1.89

$$\gamma_{d\text{ opm}} = 2.06 \text{ g/cm}^3$$

$$W_{\text{ opm}} = 11.00\%$$

COURBE DE COMPACTAGE DU MELANGE 70% D'ARGILE + 30% DE LATÉRITE + 0,8 L/M³
(= 0,04%) DE CONSOLID 444 + 10L/M³ DE CONSERVEX



ESSAI DE COMPACTAGE

<u>Caractéristiques du matériau:</u>	<u>description:</u> 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8l/m ³ de consolid 444 + 20l/m ³ de conservex
	<u>provenance:</u> Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

Type d'essai: Proctor modifié

% passant tamis 20mm :

moule: diamètre:15,2cm ; hauteur: 11,6cm

marteau: poids: 4500g; hauteur de chute: 45,7cm

Nombre de couches: 5 ; Nombre de coups par couche: 56

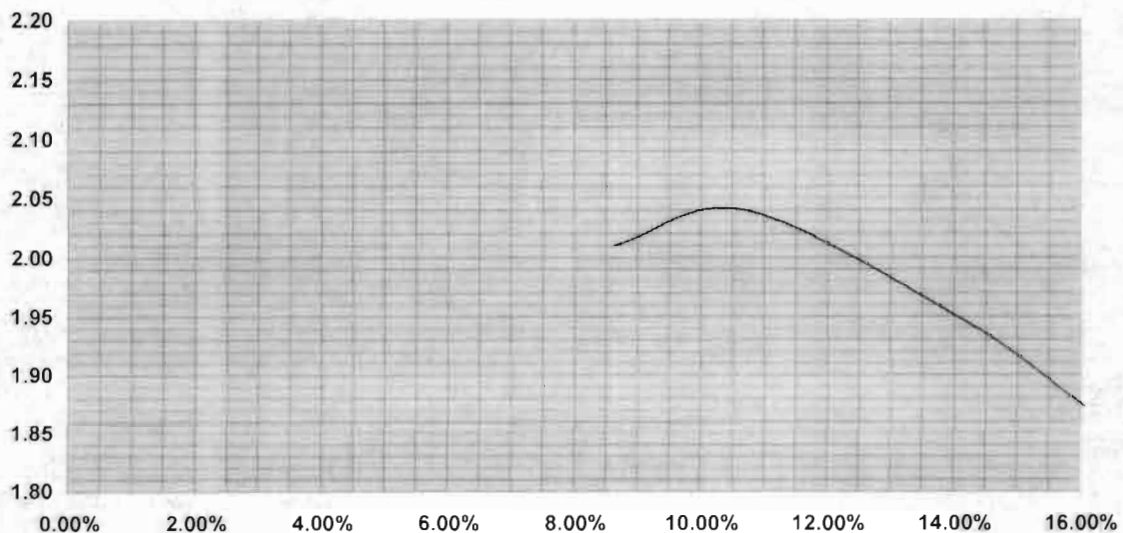
N° ESSAI	1	2	3	4
% approximatif d'eau ajoutée	6%	8%	10%	12%
volume du moule V(cm ³)	2105	2105	2105	2105
poids du sol humide + moule: W1(g)	10652	10811	10735	10605
poids du moule Tare(g)	6059	6059	6059	6059
poids du sol humide WT=W1-Tare (g)	4593	4752	4676	4546
densité humide $\gamma_t=Wt/V$ (g/cm ³)	2.18	2.26	2.22	2.16

réipient n°	A7	4B	B4E2	THON
Poids du réipient tare(g)	33.55	34.15	33.55	27.00
poids du sol humide + réipient w1(g)	319.74	261.50	341.50	219.00
poids du sol sec+ réipient w2(g)	297.09	239.52	303.20	191.81
poids de l'eau Ww= W1-W2 (g)	22.65	21.98	38.30	27.19
poids du sol sec Ws=W2-tare (g)	263.54	205.37	269.65	164.81
teneur en eau w= Ww/Ws (g)	8.59%	10.70%	14.20%	16.50%
densité sèche $\gamma_d = \gamma_t/(1+w)$ (g/cm ³)	2.01	2.04	1.95	1.85

$\gamma_{d\text{ opm}} = 2.04 \text{ g/cm}^3$

$W_{\text{ opm}} = 10.30\%$

COURBE DE COMPACTAGE DU MELANGE 70% D'ARGILE + 30% DE LATERITE + 0,8 L/m³ (= 0,04%) DE CONSOLID 444 + 20L/m³ DE CONSERVEX



ESSAI DE COMPACTAGE

Caractéristiques du matériau:	description: (70% d'Argile + 30% de Latérite) + 0,8l/m ³ de consolid 444 + 1% de solidry
	provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

Type d'essai: Proctor modifié

% passant tamis 20mm :

moule: diamètre:15,2cm ; hauteur: 11,6cm

marteau: poids: 4500g; hauteur de chute: 45,7cm

Nombre de couches: 5 ; Nombre de coups par couche: 56

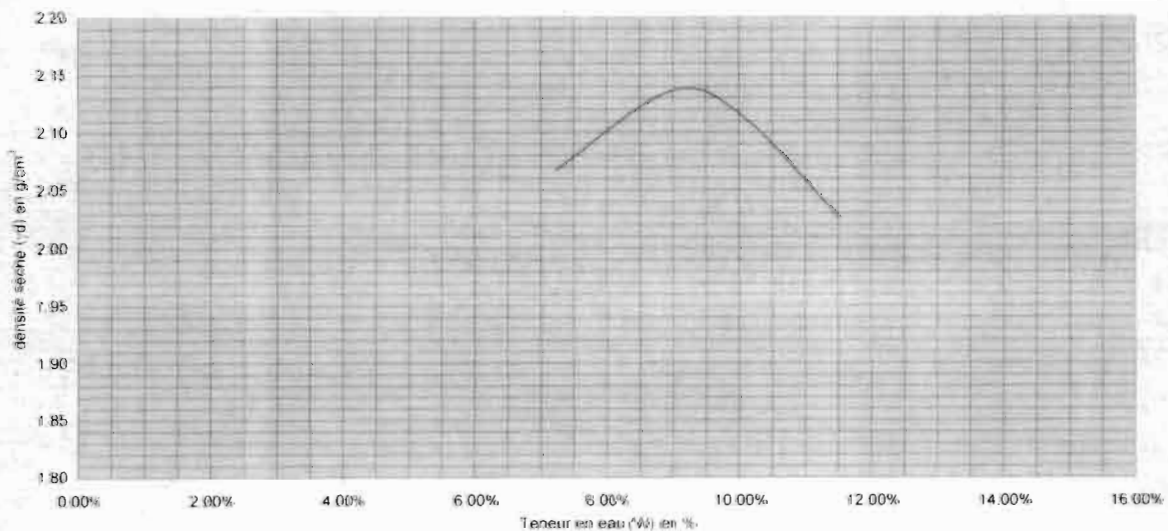
N° ESSAI	1	2	3	4
% approximatif d'eau ajoutée	4%	5%	6%	8%
volume du moule V(cm ³)	2105	2105	2105	2105
poids du sol humide + moule: W1(g)	10809	11042	11044	10900
poids du moule Tare(g)	6144	6144	6144	6144
poids du sol humide WT=W1-Tare (g)	4665	4898	4900	4756
densité humide $\gamma_t = Wt/V$ (g/cm ³)	2.22	2.33	2.33	2.26

réipient n°	F	F1	F3	F2
Poids du réipient tare(g)	55.72	55.50	77.88	55.40
poids du sol humide + réipient w1(g)	434.90	434.36	513.34	450.00
poids du sol sec+ réipient w2(g)	409.35	403.22	473.66	409.20
poids de l'eau Ww= W1-W2 (g)	25.55	31.14	39.68	40.80
poids du sol sec Ws=W2-tare (g)	353.63	347.72	395.78	353.80
teneur en eau w= Ww/Ws (g)	7.23%	8.96%	10.03%	11.53%
densité sèche $\gamma_d = \gamma_t / (1+w)$ (g/cm ³)	2.07	2.14	2.12	2.03

$$\gamma_{d\text{ opm}} = 2.14 \text{ g/cm}^3$$

$$W_{\text{ opm}} = 9.00\%$$

COURBE DE COMPACTAGE DU MELANGE 70% D'ARGILE + 30% DE LATERITE + 0,8 L/m³
(= 0,04%) DE CONSOLID 444 + 1% DE SOLIDRY



ESSAI DE COMPACTAGE

<u>Caractéristiques du matériau:</u>	<u>description:</u> (70% d'Argile + 30% de Latérite) + 0,8l/m ³ de consolid 444 + 2% de solidry
	<u>provenance:</u> Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

Type d'essai: Proctor modifié

% passant tamis 20mm :

moule: diamètre:15,2cm ; hauteur: 11,6cm

marteau: poids: 4500g; hauteur de chute: 45,7cm

Nombre de couches: 5 ; Nombre de coups par couche: 56

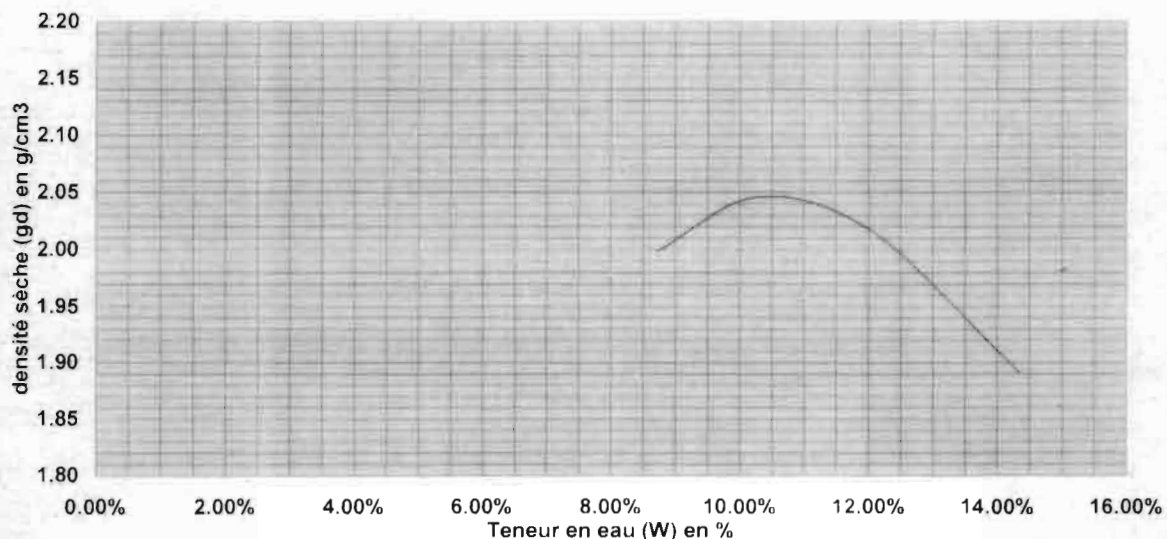
N° ESSAI	1	2	3	4
% approximatif d'eau ajoutée	6%	8%	10%	12%
volume du moule V(cm ³)	2105	2105	2105	2105
poids du sol humide + moule: W1(g)	10790	10966	10970	10769
poids du moule Tare(g)	6217	6217	6217	6217
poids du sol humide WT=W1-Tare (g)	4573	4749	4753	4552
densité humide $\gamma_t=Wt/V$ (g/cm ³)	2.17	2.26	2.26	2.16

réipient n°	P1	A2	M28	P2
Poids du récipient tare(g)	55.59	55.53	54.27	51.67
poids du sol humide + récipient w1(g)	381.59	373.72	391.38	381.90
poids du sol sec+ récipient w2(g)	355.44	344.06	355.00	340.46
poids de l'eau Ww= W1-W2 (g)	26.15	29.66	36.38	41.44
poids du sol sec Ws=W2-tare (g)	299.85	288.53	300.73	288.79
teneur en eau w= Ww/Ws (g)	8.72%	10.28%	12.10%	14.35%
densité sèche $\gamma_d= \gamma_t/(1+w)$ (g/cm ³)	2.00	2.05	2.01	1.89

$$\gamma_{d\text{ opm}} = 2.05 \text{ g/cm}^3$$

$$W_{\text{ opm}} = 10.30\%$$

COURBE DE COMPACTAGE DU MELANGE 70% D'ARGILE + 30% DE LATERITE + 0,8 L/m³
(= 0,04%) DE CONSOLID 444 + 2% DE SOLIDRY



ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	Description: 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8l/m ³ de consolid 444
	Provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

ANNEAU DE CHARGE				POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON				
N° (Capacité)	Lecture maximale = 60 kN conv. (N/div.) = 0.2			ESSAI : modifié méthode (A-B-C-D)	% passant au tamis			
Numero : 12				marteau (g)	4500	Poids sol humide + moule	Ph =	10869
Diamètre : 15.2 cm				H de chute (cm)	45.7	Poids sol humide	Ph = Ph - Tare =	4790
Hauteur du sol : 11.6 cm				Nbre couches	5	Poids unitaire total	$\gamma_t = Ph/V =$	2.28
Volume du sol V : 2105 cm ³				Nbre de coups par couche	56	Teneur en eau moyenne	w =	10.85%
Tare = 6079 g				APRES DESSICATION				
				Durée	Poids final humide + moule Phf =			
				Température	Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =			
				% d'eau évaporée (Peau / Ps) =				
				Aire du poinçon A = 19,35 cm ² vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min				
IMBIBITION					POINÇONNEMENT			
Durée: 96 Heures					Surcharge = 4541 g			
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Efoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
			0.00	0.00%				
			0.00	0.00%	0	0.0	0	0
			0.00	0.00%	0.5	0.8	82	4
			0.00	0.00%	1	1.8	183	9
			0.00	0.00%	1.5	2.4	245	13
		0.60	0.60	0.52%	2	3.2	326	17
		0.80	0.80	0.69%	2.5	3.8	387	20
					3	4.2	428	22
					4	4.8	489	25
					5	5.4	550	28
Poids final humide + moule Phf = 10947					7.5	6.6	673	35
Poids eau absorbée (Phf - Pht) = 78					10	7.6	775	40
% d'eau absorbée (Peau / Ps) = 1.81%					12.5	8.4	856	44
TENEUR EN EAU						RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION		
Récipient N°	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR			Teneur en eau compactage = 10.85%		
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur	Densité sèche = 2.05		
Pds hum + tare	M28	A2	A2	P1	P2	Compacité = 100.14%		
Pds sec + tare	310.38	315.02	215.00	307.87	336.40	Teneur en eau finale = 12.89%		
Pds eau	284.82	290.10	195.71	279.90	304.77			
tare	25.56	24.92	19.29	27.97	31.63	Efoncement	CBR	
Pds sol sec	54.27	55.15	55.15	55.36	51.29	2,5 mm	28	
teneur en eau	230.55	234.95	140.56	224.54	253.48	5,0 mm	27	
moyenne w	11.09%	10.61%	13.72%	12.46%	12.48%	CBR = 28		
	10.85%		12.89%					

ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	description: 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8l/m ³ de consolid 444
	provenance: Diarniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

ANNEAU DE CHARGE				POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON				
N° (Capacité)	ESSAI : modifié			% passant au tamis				
Lecture maximale = 60 kN	méthode (A-B-C-D)			Poids sol humide + moule	Ph =	10713		
conv. (N/div.) = 0.2	marteau (g)			4500	Poids sol humide	Ph = Ph - Tare =	4701	
	H de chute (cm)			45.7	Poids unitaire total	$\gamma_t = Ph/V =$	2.23	
	Nbre couches			5	Teneur en eau moyenne	w =	10.65%	
	Nbre de coups par couche			25	Poids unitaire sec	$\gamma_d = \gamma_t / (1+w) =$	2.02	
	Poids sol sec				Ps = Ph / (1+w) =	4249		
	APRES DESSICATION							
	Durée			Poids final humide + moule Phf =				
	Température			Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =				
	Tare = 6012 g			% d'eau évaporée (Peau / Ps) =				
Aire du poignon A = 19,35 cm ²				vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min				
IMBIBITION				POINÇONNEMENT				
Durée: 96 Heures				Surcharge = 4542 g				
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Efoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
			0.00	0.00%				
			0.00	0.00%	0	0.0	0	0
			0.00	0.00%	0.5	0.4	41	2
			0.00	0.00%	1	1.0	102	5
			0.00	0.00%	1.5	1.3	133	7
		0.31	0.31	0.27%	2	1.6	163	8
		0.31	0.31	0.27%	2.5	2.2	224	12
					3	2.5	255	13
					4	3.2	326	17
					5	5.0	510	26
					7.5	5.4	550	28
					10	6.8	693	36
					12.5	8.2	836	43
TENEUR EN EAU				RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION				
	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR					
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur			
Récipient N°	A2	G7	A2	B1	M28			
Pds hum + tare	315.02	490.47	188.68	178.60	335.65	Densité sèche = 2.02		
Pds sec + tare	290.10	466.56	167.57	161.37	300.12	Compacité = 97.51%		
Pds eau	24.92	23.91	21.11	17.23	35.53	Teneur en eau finale = 14.24%		
tare	55.15	242.76	29.55	28.55	54.27	Efoncement	CBR	
Pds sol sec	234.95	223.80	138.02	132.82	245.85	2,5 mm	16	
teneur en eau	10.61%	10.68%	15.29%	12.97%	14.45%	5,0 mm	25	
moyenne w	10.65%		14.24%			CBR = 25		

ESSAI CBR

<u>Caractéristiques du matériau:</u>	<u>description:</u> 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8l/m3 de consolid 444
	<u>provenance:</u> Diarniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (laterite)

ANNEAU DE CHARGE				POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON				
N° (Capacité)	ESSAI : modifié			% passant au tamis				
Lecture maximale = 60 kN	méthode (A-B-C-D)			Poids sol humide + moule	Ph =	10598		
conv. (N/div.) = 0.2	marteau (g)			4500	Poids sol humide	Ph = Ph - Tare =	4491	
	H de chute (cm)			45.7	Poids unitaire total	$\gamma_t = Ph/V =$	2.13	
	Nbrc couches			5	Teneur en eau moyenne	w =	10.17%	
	Nbrc de coups par couche			10	Poids unitaire sec	$\gamma_d = \gamma/(1+w) =$	1.94	
	Poids sol sec				Poids sol sec	Ps = Ph/(1+w) =	4076	
<u>MOULE</u>				<u>APRES DESSICATION</u>				
Numéro :	4			Durée	Poids final humide + moule Phf =			
Diamètre	15.2 cm			Température	Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =			
Hauteur du sol	11.6 cm				% d'eau évaporée (Peau / Ps) =			
Volume du sol V	2105 cm ³							
Tare =	6107 g							
Aire du poignon A = 19,35 cm ²				vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min				
<u>IMBIBITION</u>				<u>POINÇONNEMENT</u>				
<u>Durée:</u> 96 Heures				<u>Surcharge</u> = 4540 g				
<u>Jour, Heure</u>	<u>temps écoulé</u>	<u>lecture comparateur</u>	<u>DH (mm)</u>	<u>DH/Hsol (%)</u>	<u>Enfoncement (mm)</u>	<u>lecture (kN)</u>	<u>Effort (kgf)</u>	<u>Contrainte (kgf/cm²)</u>
			0.00	0.00%				
			0.00	0.00%	0	0.0	0	0
			0.00	0.00%	0.5	0.6	61	3
			0.00	0.00%	1	1.2	122	6
			0.00	0.00%	1.5	1.6	163	8
		0.35	0.35	0.30%	2	2.0	204	11
		0.36	0.36	0.31%	2.5	2.2	224	12
					3	2.4	245	13
					4	2.6	265	14
					5	3.0	306	16
					7.5	3.4	347	18
					10	3.8	387	20
					12.5	4.2	428	22
<u>TENEUR EN EAU</u>				<u>RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION</u>				
	<u>COMPACTAGE</u>		<u>APRES ESSAI CBR</u>					
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur			
Récepteur N°	G7	G15	A2	B1	M28			
Pds hum + tare	490.47	530.16	188.68	178.60	335.65	Densité sèche = 1.94		
Pds sec + tare	466.56	505.32	167.57	161.37	300.12	Compacité = 93.55%		
Pds eau	23.91	24.84	21.11	17.23	35.53	Teneur en eau finale = 14.24%		
tare	242.76	248.24	29.55	28.55	54.27	Enfoncement	CBR	
Pds sol sec	223.80	257.08	138.02	132.82	245.85	2,5 mm	16	
teneur en eau	10.68%	9.66%	15.29%	12.97%	14.45%	5,0 mm	15	
moyenne w	10.17%		14.24%			CBR = 16		

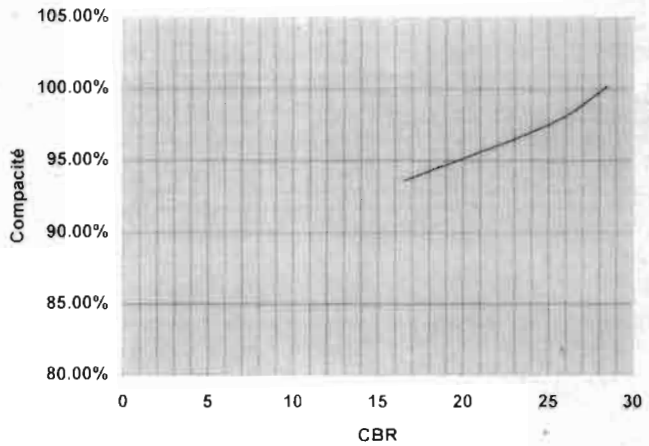
ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	description: 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8l/m ³ de consolid 444
	provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

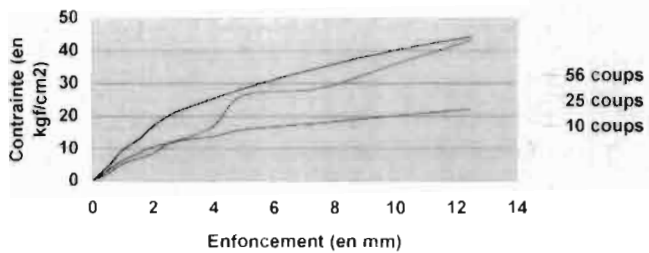
	CBR	COMPACITE
10 coups	16	93.55%
25 coups	25	97.51%
56 coups	28	100.14%
	20	95.00%
	28	100.00%

Enf. (mm)	Contrainte (en kgf/cm ²)		
	56 CPS	25 CPS	10 CPS
0	0	0	0
0.5	4	2	3
1	9	5	6
1.5	13	7	8
2	17	8	11
2.5	20	12	12
3	22	13	13
4	25	17	14
5	28	26	16
7.5	35	28	18
10	40	36	20
12.5	44	43	22

COURBE CBR EN FONCTION DE LA COMPACITE
70A30LC



COURBE DE POINCONNEMENT
70A30L8C



ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	description: 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8/m ³ de consolid 444 + 20l/m ³ de conservex
	provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

ANNEAU DE CHARGE				POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON				
N° (Capacité)	Lecture maximale = 60 kN conv. (N/div.) = 0.2			ESSAI : modifiée méthode (A-B-C-D)	% passant au tamis			
MOULE Numéro : 11 Diamètre : 15.2 cm Hauteur du sol : 11.6 cm Volume du sol V : 2105 cm ³ Tare = 5998 g				Nbre couches : 5 Nbre de coups par couche : 56	Poids sol humide + moule	Ph _t =	10753	
					Poids sol humide	Ph = Ph _t - Tare =	4758	
				H de chute (cm)	45.7	Poids unitaire total	$\gamma_t = Ph/V =$	2.26
				Durée		Teneur en eau moyenne	w =	10.10%
				Température		Poids unitaire sec	$\gamma_d = \gamma_u/(1+w) =$	2.05
						Poids sol sec	Ps = Ph/(1+w) =	4319
				APRES DESSICATION				
						Poids final humide + moule	Ph _f =	
						Poids eau évaporée	Peau = Ph _f - Ph _t =	
						% d'eau évaporée	(Peau / Ps) =	
Aire du poinçon A = 19,35 cm ²				vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min				
IMBIBITION					POINÇONNEMENT			
Durée: 96 Heures					Surcharge = 4549 g			
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Enfoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
	0 h		0.00	0.00%				
	1 h		0.00	0.00%	0	0	0	0
	2 h		0.00	0.00%	0.5	1.2	122	6
	4 h		0.00	0.00%	1	2.2	224	12
		0.03	0.03	0.03%	1.5	3.0	306	16
		0.11	0.11	0.09%	2	3.8	387	20
					2.5	4.4	449	23
					3	4.8	489	25
					4	5.8	591	31
					5	6.6	673	35
					7.5	8.6	877	45
					10	10.0	1019	53
					12.5	12.2	1244	64
Poids final humide + moule Ph _f = 10860								
Poids eau absorbée (Ph _f - Ph _t) = 107								
% d'eau absorbée (Peau / Ps) = 2.48%								
TENEUR EN EAU						RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION		
Réipient N°	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR			Densité sèche = 2.05	Compacité = 100.58%	Teneur en eau finale = 12.36%
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur			
Pds hum + tare	A2	P1	A5	A2	NEANT			
	245.21	342.85	259.33	352.44	283.98			
Pds sec + tare	227.77	316.47	235.00	320.00	268.00			
Pds eau	17.44	26.38	24.33	32.44	25.98	Enfoncement	CBR	
tare	54.82	55.59	33.35	54.82	54.66			2,5 mm
Pds sol sec	172.95	260.88	201.65	265.18	203.34	5,0mm	33	
teneur en eau	10.08%	10.11%	12.07%	12.23%	12.78%	CBR = 33		
moyenne w	10.10%		12.36%					

ESSAI CBR

<u>Caractéristiques du matériau:</u>	<u>description:</u> 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8l/m ³ de consolid 444 + 20l/m ³ de conservex
	<u>provenance:</u> Diarniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

ANNEAU DE CHARGE		POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON	
N° (Capacité)		ESSAI : modifié	% passant au tamis
Lecture maximale = 60 kN		méthode (A-B-C-D)	Poids sol humide + moule Ph = 10630
conv. (N/div.) = 0.2		marteau (g)	4500 Poids sol humide Ph = Phf - Tare = 4574
		H de chute (cm)	45.7 Poids unitaire total $\gamma_t = Ph/V = 2.17$
MOULE		Nbre couches	5 Teneur en eau moyenne w = 9.07%
Numéro :	21	Nbre de coups par couche	25 Poids unitaire sec $\gamma_d = \gamma_t / (1+w) = 1.99$
Diamètre	15.2 cm		Poids sol sec Ps = Ph / (1+w) = 4194
Hauteur du sol	11.6 cm	APRES DESSICATION	
Volume du sol V	2105 cm ³	Durée	Poids final humide + moule Phf =
Tare =	6056 g	Température	Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =
			% d'eau évaporée (Peau / Ps) =

Aire du poinçon A = 19,35 cm²

vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min

IMBIBITION					POINÇONNEMENT			
<u>Durée:</u> 96 Heures					<u>Surcharge =</u> 4541 g			
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Enfoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
	0 h		0.00	0.00%				
	1 h		0.00	0.00%	0	0	0	0
	2 h		0.00	0.00%	0.5	1.2	122	6
	4 h		0.00	0.00%	1	1.8	183	9
		0.36	0.36	0.31%	1.5	2.4	245	13
		0.49	0.49	0.42%	2	2.8	285	15
					2.5	3.0	306	16
					3	3.4	347	18
					4	3.8	387	20
					5	4.2	428	22
					7.5	5.0	510	26
					10	5.4	550	28
					12.5	6.0	612	32
Poids final humide + moule Phf = 10798								
Poids eau absorbée (Phf - Pht) = 168								
% d'eau absorbée (Peau / Ps) = 4.01%								

TENEUR EN EAU						RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION	
	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR				
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur	Densité sèche =	1.99
Récipient N°	P1	P2	THON	CAP YANN	P3C	Compacité =	97.67%
Pds hum + tare	342.85	317.88	332.60	194.37	383.14	Teneur en eau finale =	14.08%
Pds sec + tare	316.47	294.28	295.05	172.25	342.56		
Pds eau	26.38	23.60	37.55	22.12	40.58	Enfoncement	CBR
tare	55.59		27.00	15.46	55.13	2.5 mm	22
Pds sol sec	260.88	294.28	268.05	156.79	287.43	5.0 mm	21
teneur en eau	10.11%	8.02%	14.01%	14.11%	14.12%		
moyenne w	9.07%		14.08%			CBR =	22

ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	<u>description:</u> 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8l/m ³ de consolid 444 + 20l/m ³ de conservex
	<u>provenance:</u> Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

ANNEAU DE CHARGE		POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON	
N° (Capacité)		ESSAI : modifié	% passant au tamis
Lecture maximale = 60 kN		méthode (A-B-C-D)	Poids sol humide + moule Pht = 10107
conv. (kN/div.) = 0.2		marteau (g)	4500 Poids sol humide Ph = Pht - Tare = 4069
		H de chute (cm)	45.7 Poids unitaire total $\gamma_t = Ph/V = 1.93$
		Nbre couches	5 Teneur en eau moyenne w = 9.82%
		Nbre de coups par couche	10 Poids unitaire sec $\gamma_d = \gamma_t/(1+w) = 1.76$
			Poids sol sec Ps = Ph/(1+w) = 3705
<u>MOULE</u>		<u>APRES DESSICATION</u>	
Numéro :	17	Durée	Poids final humide + moule Phf =
Diamètre	15.2 cm	Température	Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =
Hauteur du sol	11.6 cm		% d'eau évaporée (Peau / Ps) =
Volume du sol V	2105 cm ³		
Tare =	6038 g		

Aire du poinçon A = 19,35 cm²

vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min

IMBIBITION					POINÇONNEMENT			
<u>Durée:</u> 96 Heures					<u>Surcharge</u> = 4505 g			
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Enfoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
	0 h		0	0.00%				
	1 h		0	0.00%	0	0	0	0
	2 h		0	0.00%	0.5	0.2	20	1
	4 h		0	0.00%	1	0.3	31	2
		0.62	0.62	0.53%	1.5	0.4	41	2
		0.65	0.65	0.56%	2	0.4	41	2
					2.5	0.4	41	2
					3	0.5	51	3
					4	0.6	61	3
					5	0.6	61	3
					7.5	0.7	71	4
					10	0.8	82	4
					12.5	0.8	82	4
Poids final humide + moule Phf = 10450								
Poids eau absorbée (Phf - Pht) = 343								
% d'eau absorbée (Peau / Ps) = 9.26%								

TENEUR EN EAU						RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION	
Recipient N°	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR			Densité sèche =	1.76
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur		
	P2	M28	V2	B110	G14	Compacité =	86.28%
Pds hum + tare	317.88	337.02	515.97	381.50	564.72	Teneur en eau finale =	17.52%
Pds sec + tare	294.28	311.51	460.00	333.78	500.92		
Pds eau	23.60	25.51	55.97	47.72	63.80	Enfoncement	CBR
tare	51.67	54.27	138.84	61.92	137.82	2,5 mm	3
Pds sol sec	242.61	257.24	321.16	271.86	363.10	5,0mm	3
teneur en eau	9.73%	9.92%	17.43%	17.55%	17.57%		
moyenne w	9.82%		17.52%			CBR =	3

ESSAI CBR

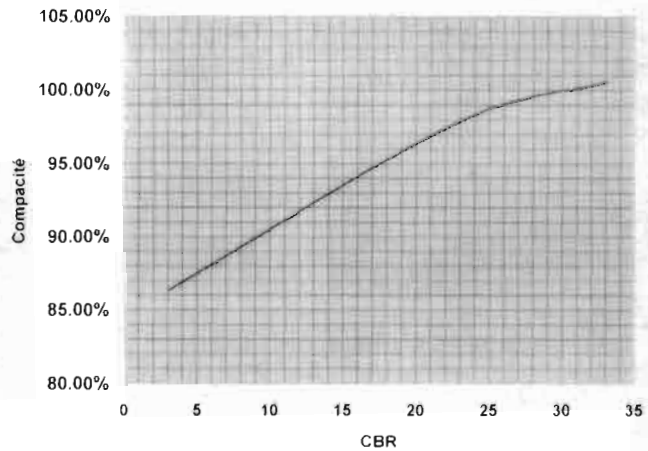
Caractéristiques du matériau	description: 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8l/m ³ de consolid 444 + 20l/m ³ de conservex
	provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

	CBR	COMPACITE
10 coups	3	86.28%
25 coups	22	97.67%
56 coups	33	100.58%

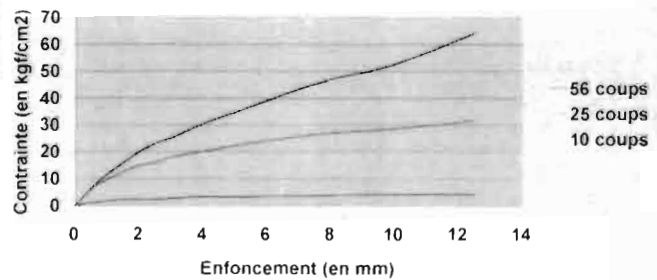
CBR à 95%	17
CBR à 100%	31

Enf. (mm)	Contrainte (en kgf/cm ²)		
	56 CPS	25 CPS	10 CPS
0	0	0	0
0.5	6	6	1
1	12	9	2
1.5	16	13	2
2	20	15	2
2.5	23	16	2
3	25	18	3
4	31	20	3
5	35	22	3
7.5	45	26	4
10	53	28	4
12.5	64	32	4

COURBE CBR EN FONCTION DE LA COMPACITE
70A30LCCX1



COURBE DE POINÇONNEMENT
70A30LCCX1



ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	description: 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8l/m ³ de consolid 444 + 2% de solidry
	provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

ANNEAU DE CHARGE		POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON						
N° (Capacité)		ESSAI : modifié	% passant au tamis					
Lecture maximale = 60 kN		méthode (A-B-C-D)	Poids sol humide + moule Pht = 10878					
conv. (N/div.) = 0,2		marceau (g)	4500 Poids sol humide Ph = Pht - Tare = 4809					
		H de chute (cm)	45,7 Poids unitaire total $\gamma_t = Ph/V = 2,28$					
		Nbre couches	5 Teneur en eau moyenne w = 10,03%					
		Nbre de coups par couche	56 Poids unitaire sec $\gamma_d = \gamma_t / (1+w) = 2,08$					
			Poids sol sec Ps = Ph / (1+w) = 4371					
		APRES DESSICATION						
		Durée	Poids final humide + moule Phf =					
		Température	Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =					
			% d'eau évaporée (Peau / Ps) =					
		Aire du poinçon A = 19,35 cm ² vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min						
IMBIBITION								
Durée: 96 Heures		Surcharge = 4538 g						
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Efoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
	0 h		0,00	0,00%				
	1 h		0,00	0,00%	0	0	0	0
	2 h		0,00	0,00%	0,5	5,2	530	27
	4 h		0,00	0,00%	1	8,2	836	43
		0,01	0,01	0,01%	1,5	10,8	1101	57
		0,02	0,02	0,02%	2	12,8	1305	67
					2,5	14,6	1488	77
					3	16,0	1631	84
					4	17,0	1733	90
					5	18,8	1916	99
					7,5	19,0	1937	100
					10	19,6	1998	103
					12,5	21,0	2141	111
Poids final humide + moule Phf = 10950		Poids eau absorbée (Phf - Pht) = 72		% d'eau absorbée (Peau / Ps) = 1,65%				
TENEUR EN EAU						RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION		
Recipient N°	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR			Efoncement	CBR	Densité sèche = 2,08
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur			
Pds hum + tare	234,01	232,11	391,12	397,21	391,29	2,5 mm	109	Compacité = 101,29%
Pds sec + tare	215,86	213,91	356,45	369,25	354,93	5,0 mm	94	Teneur en eau finale = 12,17%
Pds eau	18,15	18,20	34,67	27,96	36,36			
tare	34,20	33,13	64,07	139,47	63,69			
Pds sol sec	181,66	180,76	292,38	229,78	291,24			
teneur en eau	9,99%	10,07%	11,86%	12,17%	12,48%			
moyenne w	10,03%		12,17%			CBR = 109		

ESSAI CBR

Caractéristiques du matériau:	description: 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8/m ³ de consolid 444 + 2% de solidry
	provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

ANNEAU DE CHARGE		POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON	
N° (Capacité)		ESSAI : modifié	% passant au tamis
Lecture maximale = 60 kN		méthode (A-B-C-D)	Poids sol humide + moule Pht = 10575
conv. (N/div.) = 0.2		marteau (g)	4500 Poids sol humide Ph = Pht - Tare = 4528
		H de chute (cm)	45.7 Poids unitaire total $\gamma_t = Ph/V = 2.15$
		Nbre couches	5 Teneur en eau moyenne w = 10.26%
		Nbre de coups par couche	25 Poids unitaire sec $\gamma_d = \gamma_t/(1+w) = 1.95$
			Poids sol sec Ps = Ph/(1+w) = 4107
MOULE		APRES DESSICATION	
Numéro :	10	Durée	Poids final humide + moule Phf =
Diamètre	15.2 cm	Température	Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =
Hauteur du sol	11.6 cm		% d'eau évaporée (Peau / Ps) =
Volume du sol V	2105 cm ³		
Tare =	6047 g		

Aire du poignon A = 19,35 cm²

vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min

IMBIBITION					POINÇONNEMENT			
Durée: 96 Heures					Surcharge = 4525 g			
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Enfoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
	0 h		0.00	0.00%				
	1 h		0.00	0.00%	0	0	0	0
	2 h		0.00	0.00%	0.5	2.6	265	14
	4 h		0.00	0.00%	1	6.0	612	32
		0.02	0.02	0.02%	1.5	7.6	775	40
		0.03	0.03	0.03%	2	8.4	856	44
					2.5	8.6	877	45
					3	8.8	897	46
					4	9.2	938	48
					5	9.8	999	52
					7.5	11.0	1121	58
					10	12.4	1264	65
					12.5	13.8	1407	73
Poids final humide + moule Phf = 10747								
Poids eau absorbée (Phf - Pht) = 172								
% d'eau absorbée (Peau / Ps) = 4.19%								

TENEUR EN EAU						RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION	
Récipient N°	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR			Densité sèche =	1.95
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur		
	B4E2	A7	B4	A7	B4E2	Compacité =	95.17%
Pds hum + tare	232.11	241.14	356.36	378.36	333.47	Teneur en eau finale =	13.59%
Pds sec + tare	213.91	221.49	317.06	337.25	297.12		
Pds eau	18.20	19.65	39.30	41.11	36.35	Enfoncement	CBR
tare	33.15	33.50	25.46	33.50	33.15	2,5 mm	64
Pds sol sec	180.76	187.99	291.60	303.75	263.97	5,0 mm	48
teneur en eau	10.07%	10.45%	13.48%	13.53%	13.77%		
moyenne w	10.26%		13.59%			CBR =	64

ESSAI CBR

<u>Caractéristiques du matériau:</u>	<u>description:</u> 70% d'Argile + 30% de Latérite + 0,8/m ³ de consolid 444 + 2% de solidry
	<u>provenance:</u> Diamniadio (argile) et Carriere de Dakhar Mbaye (latérite)

ANNEAU DE CHARGE		POIDS UNITAIRE DE L'ECHANTILLON	
N° (Capacité)		ESSAI : modifié	% passant au tamis
Lecture maximale = 60 kN		méthode (A-B-C-D)	Poids sol humide + moule Pht = 10376
conv. (kN/div.) = 0.2		marteau (g)	4500 Poids sol humide Ph = Pht - Tare = 4233
		H de chute (cm)	45.7 Poids unitaire total $\gamma_t = Ph/V = 2.01$
		Nbre couches	5 Teneur en eau moyenne w = 10.26%
		Nbre de coups par couche	10 Poids unitaire sec $\gamma_d = \gamma_t/(1+w) = 1.82$
			Poids sol sec Ps = Ph/(1+w) = 3839
<u>MOULE</u>		<u>APRES DESSICATION</u>	
Numéro :	9	Durée	Poids final humide + moule Phf =
Diamètre	15.2 cm	Température	Poids eau évaporée Peau = Phf - Pht =
Hauteur du sol	11.6 cm		% d'eau évaporée (Peau / Ps) =
Volume du sol V	2105 cm ³		
Tare =	6143 g		

Aire du poignon A = 19,35 cm²

vitesse de poinçonnement = 1,27 mm/min

IMBIBITION					POINÇONNEMENT			
<u>Durée:</u> 96 Heures					<u>Surcharge</u> = 4505 g			
Jour, Heure	temps écoulé	lecture comparateur	DH (mm)	DH/Hsol (%)	Efoncement (mm)	lecture (kN)	Effort (kgf)	Contrainte (kgf/cm ²)
	0 h		0	0.00%				
	1 h		0	0.00%	0	0	0	0
	2 h		0	0.00%	0.5	2.0	204	11
	4 h		0	0.00%	1	3.0	306	16
		0.05	0.05	0.04%	1.5	3.8	387	20
		0.05	0.05	0.04%	2	4.2	428	22
					2.5	4.4	449	23
					3	4.6	469	24
					4	4.8	489	25
					5	5.0	510	26
					7.5	5.4	550	28
					10	5.8	591	31
					12.5	6.2	632	33
Poids final humide + moule Phf = 10643								
Poids eau absorbée (Phf - Pht) = 267								
% d'eau absorbée (Peau / Ps) = 6.95%								

TENEUR EN EAU						RESULTATS DE L'ESSAI APRES IMBIBITION	
Récipient N°	COMPACTAGE		APRES ESSAI CBR			Efoncement	CBR
	Avant	Après	1/3 supérieur	milieu	1/3 inférieur		
	A7	A5	M28	P2	P1		
Pds hum + tare	241.14	238.13	361.70	367.04	365.35	Densité sèche =	1.82
Pds sec + tare	221.49	219.42	320.46	324.56	322.65	Compacité =	88.97%
Pds eau	19.65	18.71	41.24	42.48	42.70	Teneur en eau finale =	15.68%
tare	33.50	33.62	54.27	51.67	55.59	2,5 mm	33
Pds sol sec.	187.99	185.80	266.19	272.89	267.06	5,0mm	25
teneur en eau	10.45%	10.07%	15.49%	15.57%	15.99%		
moyenne w	10.26%		15.68%			CBR =	33

ESSAI CBR

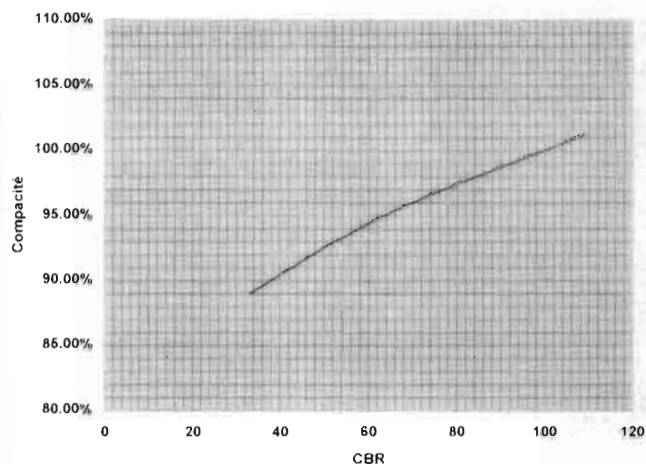
Caractéristiques du matériau:	description: (70% d'Argile + 30% de Latérite) + 0,8l/m ³ de consolid 444 + 2% de solidry
	provenance: Diamniadio (argile) et Carrière de Dakhar Mbaye (latérite)

	CBR	COMPACITE	RIGIDITE
10 coups	33	88.97%	164
25 coups	64	95.17%	292
56 coups	109	101.29%	465
	63	95.00%	
	84	98.00%	

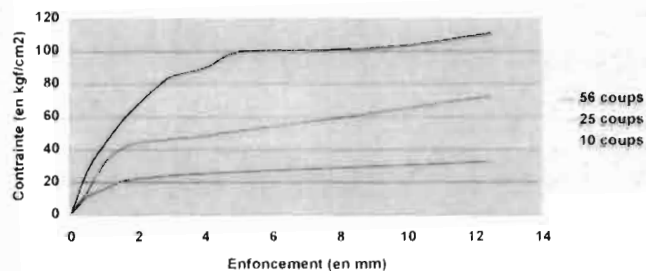
Enf. (mm)	Contrainte (en kgf/cm ²)		
	56 CPS	25 CPS	10 CPS
0	0	0	0
0.5	27	14	11
1	43	32	16
1.5	57	40	20
2	67	44	22
2.5	77	45	23
3	84	46	24
4	90	48	25
5	99	52	26
7.5	100	58	28
10	103	65	31
12.5	111	73	33

Déformation	Rigidité (en MPa)		
	56 CPS	25 CPS	10 CPS
0.000			
0.004	636	318	244
0.008	501	367	183
0.013	440	310	156
0.017	391	257	128
0.021	357	210	108
E _{module} (MPa)	465	292	164

COURBE CBR EN FONCTION DE LA COMPACITE
70A30LCSD2



COURBE DE POINÇONNEMENT
70A30L



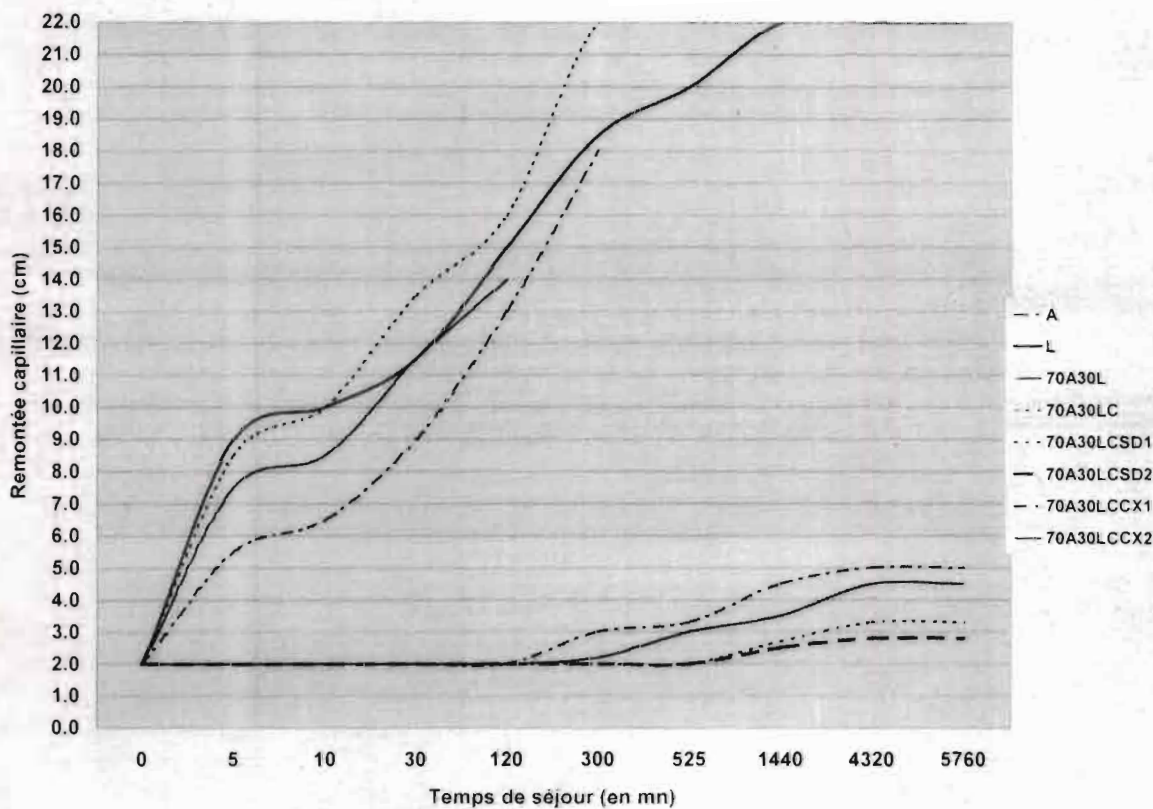
ANNEXE IV :

ESSAI DE SUCCION CAPILLAIRE

REMONTÉE CAPILLAIRE

Temps	0 mn	5 mn	10 mn	30 mn	2 h	5h	8 h 45 mn	24 h	72 h	96 h	% de remontée capillaire au bout de 96 heures
	0	5	10	30	120	300	525	1440	4320	5760	
A	2.0	5.5	6.5	9.0	13.0	18.0					
L	2.0	9.0	10.0	11.5	15.0	18.5	20.0	22.0	22.0	22.0	100.00
70A30L	2.0	7.5	8.5	11.5	14.0						
70A30LC	2.0	8.5	10.0	13.5	16.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	100.00
70A30LCSD1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.7	3.3	3.3	6.50
70A30LCSD2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.8	2.8	4.00
70A30LCCX1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	3.0	3.3	4.5	5.0	5.0	15.00
70A30LCCX2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	3.0	3.5	4.5	4.5	12.50

ESSAI DE SUCCION CAPILLAIRE



LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Performances des produits consolid sur un matériau ayant fait l'objet
d'une amélioration mécanique

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau 1</u> : Classification des sols selon AASHTO	22
<u>Tableau 2</u> : Résultats CBR du sable argileux de Diamniadio	35
<u>Tableau 3</u> : Abaque de plasticité de Casagrande	37
<u>Tableau 4</u> : Résultats de l'essai Proctor modifié des formulations 80A20L et 70A30L	39
<u>Tableau 5</u> : Formulations du traitement	42
<u>Tableau 6</u> : Résultats de l'essai Proctor modifié des formulations traitées	42
<u>Tableau 7</u> : Résultats de l'essai CBR des formulations 70A30LC, 70A30LCSD2 et 70A30LCCX1	43
<u>Tableau 8</u> : Classification des sols en fonction de leur portance (CEBTP)	51
<u>Tableau 9</u> : Classification des sols en fonction de leur portance (CEBTP)	51
<u>Tableau 10</u> : Classes de trafic en nombre de véhicules par jour (CEBTP)	52
<u>Tableau 11</u> : Classes de trafic en nombre de poids lourds (CEBTP)	52
<u>Tableau 12</u> : épaisseur minimale du corps de chaussée selon le trafic et le CBR de la forme	53
<u>Tableau 13</u> : Epaisseur du corps de chaussé pour par la formule CBR corrigée de PELTIER	54
<u>Tableau 14</u> : Devis estimatif du corps de chaussée traité selon la formulation 70A30LCSD2	57
<u>Tableau 15</u> : Devis estimatif du corps de chaussée en latérite	58
<u>Tableau 16</u> : Devis estimatif du corps de chaussée traité à 3% de ciment	59