

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	I
LISTE DES FIGURES.....	II
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES ABREVIATION.....	VI
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I: CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE.....	3
I.1 : CONTEXTE GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	3
I.2 : CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	6
I.3 : CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	9
I.4 : CONTEXTE CLIMATIQUE.....	12
I.5 : SOL ET VEGETATION.....	14
I.6 : CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE.....	16
CHAPITRE II : ESSAIS EN LABORATOIRE.....	19
II.1 : ESSAI D'IDENTIFICATION.....	19
II.1.1: ANALYSE GRANULOMETRIQUE.....	21
II.1.2 : LIMITES D'ATTERBERG.....	22
II.1.3 : CLASSIFICATION GEOTECHNIQUE.....	25
II.2: ESSAI DE COMPACTAGE ET DE PORTANCE.....	28
II.2.1 : ESSAI PROCTOR.....	28
II.2 .2 : ESSAI CBR.....	29
CHAPITRE III : PRESENTATION DES PRODUITS NANOTECHNOLOGIQUES ET GENERALITES SUR L'ARGILE.....	31
III.1 : TERRASIL.....	31
III.2 : ZYCOBOND.....	32
III.3 : LES ARGILES.....	34
CHAPITRE IV : TRAITEMENT DE L'ARGILE.....	37
IV.1 : PREMIERE ETUDE : EXPERIMENTATION SUR L'ECHANTILLON N°01..	37
IV.2 : DEUXIEME ETUDE : EXPERIMENTATION SUR L'ECHANTILLON N°02.	43
CHAPITRE V : INTERPRETATION GENERALE DES RESULTATS DE LA RECHERCHE.....	49
V.1 : INTERPRETATION DES RESULTATS.....	49
V.2 : COMPARAISON DES RESULTATS DES TRAITEMENTS DES SOLS ARGILEUX DE LA RN43 ET DES SABLES ARGILEUX DE LA RN9 (TOLIARA- ANALAMISAMPY).....	52

V.3 : DOSAGE DE LA QUANTITE DE TERRASIL ET DE ZYCOBOND POUR LES SOLS ARGILEUX DE LA RNS43.....	53
V.4 : DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE.....	54
V.5 : ESTIMATION DU COUT DE TERRASIL ET DU ZYCOBOND POUR UN METRE LINEAIRE DE LA RNS 43 ET QUELQUES AVANTAGES.....	56
V.6 : AUTRES AVANTAGES DE L'UTILISATION DU TERRASIL ET DU ZYCOBOND DANS L'AMELIORATION DES SOLS.....	57
CONCLUSION.....	58

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à remercier Dieu tout puissant de m'avoir donné la santé, la force et le courage pour que je puisse réaliser le présent ouvrage.

Je tiens aussi à exprimer mes vifs remerciements à:

- A Monsieur RAMAHERIMANDIMBY Marson, Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo pour son approbation à la présentation de ce mémoire;
- Au docteur ANDRIAMAMONJY Solofomampielly Alfred, Responsable de la Mention Sciences de la Terre et de l'Environnement de m'avoir autorisé à présenter ce mémoire ;
- Au Docteur RALISON Bruno André Noël, de présider cette soutenance ;
- Au Professeur RAMASIANORO Voahanginirina Jeanine, Responsable de parcours GEOTECHNIQUE, qui m'a encadré et m'a donné des conseils pour la réalisation de ce travail ;
- Au Docteur RANDRIAMALALA Tiana Richard, Chef de Département de Recherche et de Développement Matériau au sein du Laboratoire National des Travaux Publics et des Bâtiments pour ses encadrements professionnels et pour les conseils qu'il m'a donnés ;
- Au Docteur ANDRIAMAMONJISOA Solofo Nirina, pour ses précieux conseils et d'accepter de siéger parmi les membres du Jury;
- Madame ANDRIANARIJAONA Nivo Tiana, Représentante du produit Zydex à Madagascar pour sa collaboration ;
- Monsieur ANDRIAMBELOMANANA Tahiry, chef du laboratoire sol au sein du LNTPB de m'avoir dirigé sur les études au laboratoire ;
- Mes parents de m'avoir soutenu moralement, matériellement et financièrement tout au long de mes études et qui m'ont encouragée durant ce travail ;
- Tous les techniciens et opérateurs du LNTPB qui ont transmis leur savoir et leurs expériences professionnelles ;
- Tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de cet ouvrage.

Merci à tous.

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Carte de localisation de la zone d'étude...	4
Figure 02 : Carte de localisation de la commune d'Ambohibary	5
Figure 03 : Extrait de carte géologique de la commune d'Ambohibary	8
Figure 04 : Extrait de la: carte d'altitude de la commune d'Ambohibary	10
Figure 05 : Carte des pentes de la commune d'Ambohibary.	11
Figure 06 : Diagramme climatique d'Ambohibary Sambaina.....	13
Figure 07: Extrait de carte pédologique	15
Figure 08 : Extrait de carte hydrographique	17
Figure 09: Courbe granulométrique de l'échantillon n°01	20
Figure 10: Courbe granulométrique de l'échantillon n°02.....	20
Figure 11: Détermination de la limite de liquidité de l'échantillon n°01.....	21
Figure 12: Détermination de la limite de liquidité de l'échantillon n°02.....	21
Figure 13 : Type d'argile en fonction de l'indice de plasticité et la limite de liquidité.	24
Figure 14 : Diagramme de plasticité (Classification LPC).	26
Figure 15 : Courbe Proctor de l'échantillon n°01.	28
Figure 16 : Courbe Proctor de l'échantillon n°02.	28
Figure 17 : Courbe de poinçonnement de l'échantillon n°01.....	29
Figure 18: Courbe de poinçonnement de l'échantillon n°02.....	29
Figure 19: Terrasil.	31
Figure 20: Zycobond.	34
Figure 21: Structure du feuillet de la kaolinite.....	35
Figure 22: Structure du feuillet de l'illite.....	35
Figure 23 : Courbe Proctor de l'échantillon n°01 + Terrasil+ ciment 3%	39
Figure 24 : Courbe Proctor de l'échantillon n°01 + terrasil + zycobond.	39
Figure 25 : Courbe Proctor de l'échantillon n°01 + terrasil + zycobond + 1% ciment.....	39
Figure 26 : Influence de la nature du sol sur l'optimum Proctor.	39
Figure 27 : Variation de γ_{dmax} de l'échantillon n°01 avec ajout de Terrasil et de Zycobond.	40
Figure 28 : Courbe de poinçonnement de l'échantillon n°01 traité au Terrasil + 3% C.....	42
Figure 29 : Courbe de poinçonnement de l'échantillon n°01 traité au Terrasil + Zycobond.....	42
Figure 30: Courbe de poinçonnement de l'échantillon n°01 traité au Terrasil + zycobond + 1% ciment.	42
Figure 31 : Variation de la courbe de poinçonnement de l'échantillon n°01 avec traitement. ..	42
Figure 32: Courbe granulométrique avec correction granulaire de sable à 1/4.....	44
Figure 33: Courbe granulométrique de la correction granulaire à 1/3.	44
Figure 34 : Détermination de ω_L avec 1/4 de sable.	44
Figure 35 : Détermination de ω_L avec 1/3 de sable.	44
Figure 36 : Courbe Proctor de l'échantillon n°02 + sable 1/4 traité au Terrasil + 25 cm ³ Zycobond+ ciment 1%.	46
Figure 37 : Courbe Proctor de l'échantillon n°02+ sable 1/3 traité au Terrasil + 25 cm ³ Zycobond+ ciment 1%	46
Figure 38: Courbe Proctor de l'échantillon n°02+ sable 1/3 traité au Terrasil + 30 cm ³ Zycobond+ ciment 1%.	46

Figure 39: Courbe Proctor de l'échantillon n°02 + sable 1/4 traité au Terrasil + 30 cm ³ Zycobond+ ciment 1%.....	46
Figure 40: Courbe Proctor de l'échantillon n°02 + sable 1/3 traité au Terrasil + 35 cm ³ Zycobond+ ciment 1%.....	47
Figure 41 : Courbe Proctor de l'échantillon n°02 + sable 1/4 traité au Terrasil + 35 cm ³ Zycobond + ciment 1%.....	47
Figure 42 : Variation de l'indice CBR et du % gonflement à 4 jours d'imbibition par rapport au quantité de zycobond.....	50
Figure 43 : Variation de la teneur en eau finale par rapport avec la quantité de zycobond.	51
Figure 44: Courbe de référence pour la teneur en eau finale et ω_{opt}	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01: Ordre chronologique et ordre d'émission des roches de l'Ankaratra.....	7
Tableau 02: Table climatique d'Ambohibary.....	13
Tableau 03: Localisation des sites d'échantillonnages.....	19
Tableau 04: Résultats de l'analyse granulométrique des échantillons.....	20
Tableau 05: Comparaison des courbes granulométriques des échantillons.....	20
Tableau 06: Présentation des limites de liquidité des échantillons.....	21
Tableau 07: Calcul de la limite de plasticité des échantillons.....	22
Tableau 08: Présentation de l' Ip et Ic des échantillons.....	22
Tableau 09: Classification de l'argilite d'un sol selon l'indice de plasticité	23
Tableau 10: Etat du sol en fonction de l'indice de consistance.	23
Tableau 11: Classification HRB.	25
Tableau 12: Récapitulation des résultats d'essais d'identification des échantillons.....	25
Tableau 13: Classification GTR.....	26
Tableau 14: Comparaison des courbes Proctor des échantillons.	28
Tableau 15: Présentation des résultats de l'essai Proctor.....	28
Tableau 16: Résultats du poinçonnement des échantillons.....	29
Tableau 17: Calcul de l'indice portant CBR	30
Tableau 18: Classification du sol selon l'indice portance du sol	30
Tableau 19: Composition du Terrasil.....	31
Tableau 20: Caractéristique du Terrasil.	31
Tableau 21: Composition du Zycobond.....	33
Tableau 22: Propriétés du Zycobond.	33
Tableau 23: Comportement des argiles vis-à-vis de l'eau.	36
Tableau 24: Expérimentation sur l'échantillon n°01.....	38
Tableau 25: Variation de la courbe Proctor de l'échantillon 1 traité au TR et au ZB.....	39
Tableau 26: Résultats de l'essai CBR de l'échantillon n°01 traité à 96h d'immersion.....	41
Tableau 27: Comparaison des courbes de poinçonnement de l'échantillon n°01 traité.....	42
Tableau 28: Comparaison des indices portances CBR de l'échantillon n°01 non traité et les échantillons traités.....	43
Tableau 29: Comparaison de la courbe granulométrique de l'échantillon n°02 avec correction granulaire.....	44
Tableau 30: Présentation des résultats de détermination des limites d'Atterberg pour les corrections granulaires de l'échantillon n°02.....	44

Tableau 31: Résumé de l'expérimentation sur l'échantillon n°02.	45
Tableau 32: Comparaison des courbes Proctor de l'échantillon n°02 traité au TR et au ZB.....	46
Tableau 33 Calcul de l'Indice CBR de l'échantillon n°02 traité.....	47
Tableau 34: Récapitulation des expérimentations sur l'échantillon n°01.	49
Tableau 35: Récapitulation des expérimentations sur l'échantillon n°02.	50
Tableau 36 : Récapitulation des expérimentations au laboratoire sur les sables argileux de Toliara-Analamisampy.....	52
Tableau 37: Quantité de Terrasil et de Zycobond pour 1m ³ de sol.	53
Tableau 38: Présentation des résultats des calculs de ε_t et ε_z	55
Tableau 39: Présentation des structures de la chaussée pour chaque dimensionnement	56
Tableau 40: Prix du Terrasil et du Zycobond.....	56
Tableau 41: Prix du Zycobond et du Terrasil.....	56

LISTE DES ABREVIATION

Ap : Argile plastique

AT : argile très plastique

Bb : béton bitumineux

BADEA : Banque Arabe pour le Développement Economique en Afrique

CBR: Californian Bearing Ratio

FSD : Fonds Saoudien de Développement

Gnt : grave non traité

GTR : Guide de Terrassement Routier

HRB: Highway Research Board

Ip: Indice de Plasticité

LNTPB : Laboratoire National des Travaux Publics et des Bâtiments

OPM : Optimum Proctor Modifié

PF : plate-forme

PK: Point kilométrique

RN : Route Nationale

SA : Sable Argileux

ω : Teneur en eau naturelle

ω_i : teneur en eau initiale

ω_L : Limite de liquidité

ω_{OPT} : Teneur en eau optimum

W_S : Poids sec du matériau

$\gamma_D \text{ max}$: Poids volumique sec maximum

γ_s : Poids spécifique

DGM : Direction de la Météorologie

kN/ m^3 : KiloNewton par mètre cube

Ph : Poids humide de l'échantillon

Ps : Poids sec

Pe : Poids d'eau à ajouter

Pa.s : Pascal seconde

TR : terrasil

ZB : zycobond

INTRODUCTION

Les sols argileux posent des problèmes aux constructions, ils se caractérisent par une grande influence de la teneur en eau sur leur comportement mécanique. Les terrains argileux varient de volume avec la modification de leur teneur en eau telle qu'ils subissent un gonflement en cas d'humidité et un retrait quand sa teneur en eau diminue, ce qui est à l'origine de la perte de portance du sol et des fissurations sur la chaussée.

Ces problèmes se posent dans la RN43 et sont à l'origine de la dégradation de la route. Dans la région de Vakinankaratra, la RN43 assure la collecte et l'acheminement des cultures vivrières, mais le commerce de ces produits rencontre un problème très important puisque la route est actuellement presque impraticable surtout au niveau de la commune de Faratsiho jusqu'à Sambaina où la route est encore en terre. En outre, les routes en terre sont les plus influencées par la variation de la saison dans les pays tropicaux comme le nôtre, ils s'exposent directement aux intempéries qui engendrent facilement les défaillances de leur structure.

Pour résoudre les problèmes causés par les sols argileux et pour pouvoir proposer une solution de réhabilitation pérenne à la RN43, le présent document s'intitule :

« Traitement des sols argileux issus de l'altération basaltique et de l'argile lacustre de la plaine d'Ambohibary-Sambaina PK115+700 et PK123+900 par les produits nanotechnologiques pour usage routier ».

Les produits nanotechnologiques : Terrasil et Zycobond sont des produits innovants développés par Zydex industrie et sont utilisés dans les constructions routières pour imperméabiliser le sol et pour améliorer sa portance ; le Terrasil assure l'imperméabilisation et le Zycobond permet l'amélioration de la portance. L'utilisation de ces produits offre un avantage sur l'optimisation de l'épaisseur des couches de la chaussée et d'économiser dans l'entretien routier.

Cette étude comprend cinq chapitres :

- le premier chapitre parle des études bibliographiques sur les contextes généraux de la zone d'étude;
- le deuxième chapitre concerne les essais d'identification des sols au laboratoire ;
- le troisième chapitre expose les caractéristiques des produits utilisés pour le traitement des sols ainsi que les généralités sur les argiles : leur comportement

vis-à-vis de l'humidité, et les conséquences de phénomène de retrait-gonflement des sols argileux ;

- le quatrième qui est réservé pour le traitement de l'argile ;
- le cinquième traite l'interprétation des résultats de la recherche.

CHAPITRE I: CONTEXTE GÉNÉRAL DE LA ZONE D'ÉTUDE

Ce sont les contextes géographique, géologique, hydrographique, pédologique de la zone d'étude.

I.1 : CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE

La RNS 43 est une route en terre long de 50 km et actuellement en très mauvais état. Elle fait partie de la RN43 long de 131 km environ reliant la région de Vakinankaratra à Ambohibary-Sambaina et la région d'Itasy à Analavory(Figure 01).Elle est en cours de réhabilitation financée par la Banque Arabe pour le Développement Economique en Afrique (BADEA), le Fonds Saoudien de Développement (FSD), et l'État malagasy.

La zone d'étude se situe dans la commune rurale d'Ambohibary entre les coordonnées X (460 000 m - 480 000 m) et Y (715 000m - 735 000m) et est limitée au Nord par la commune de Mandrosohasina, à l'Ouest par la commune de Vinaninony, à l'Est par la commune d'Antanifotsy et au Sud par la commune d'Antsoantany et d'Ambano (Figure 02).

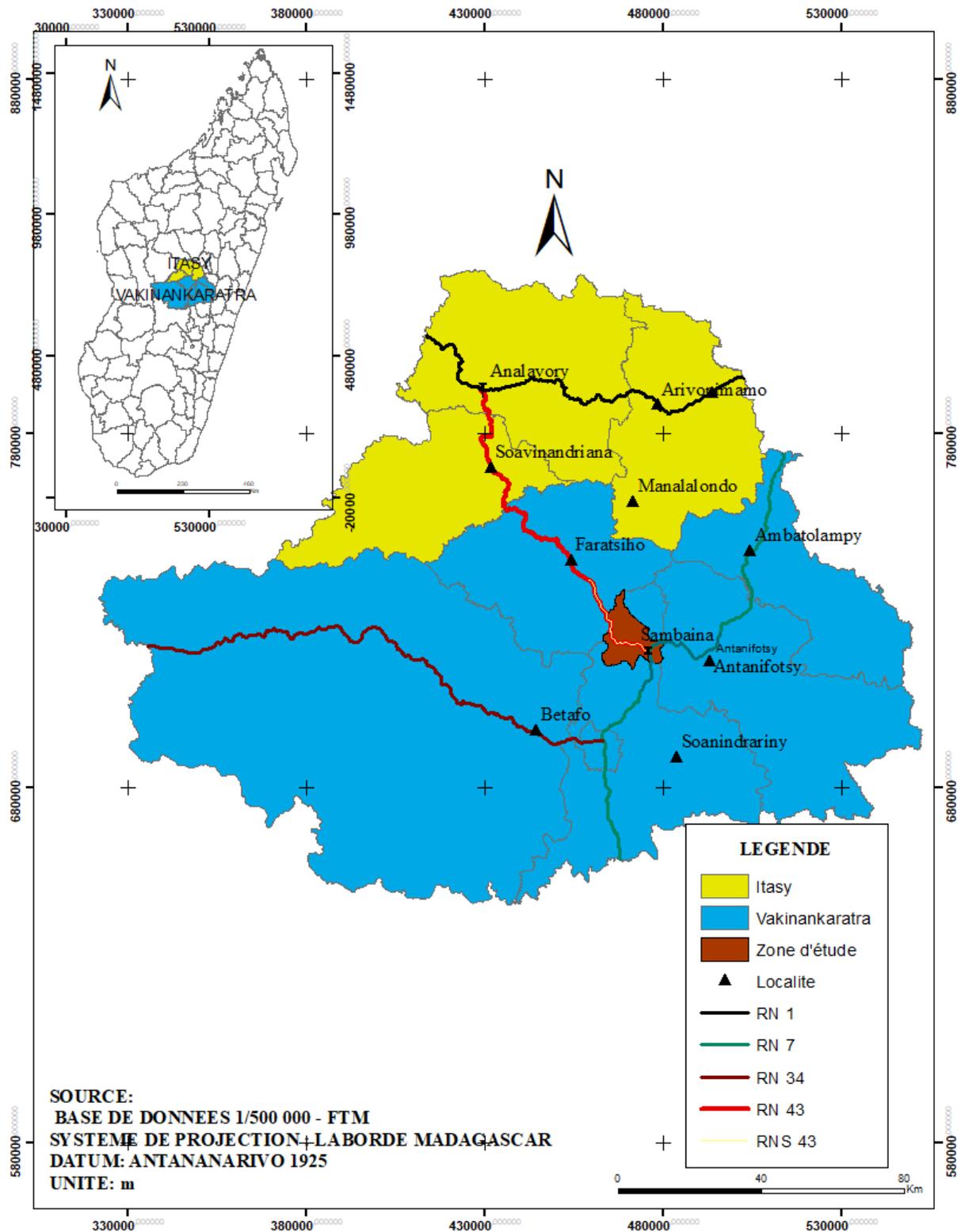


Figure01 : Carte de localisation de la zone d'étude (FTM, 2015)

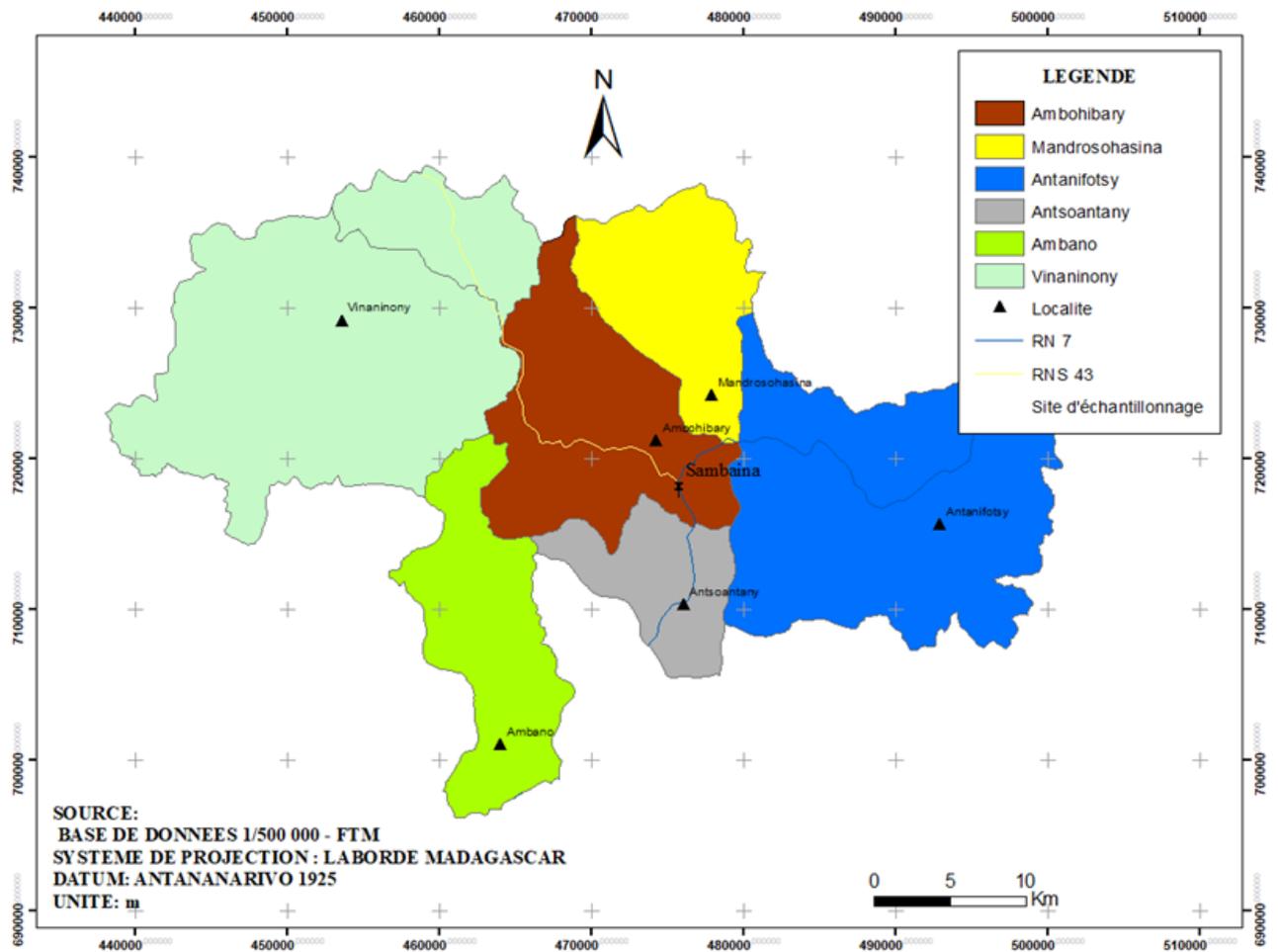


Figure 02 : Carte de localisation de la commune d’Ambohibary (FTM, 2015)

I.2 : CONTEXTES GÉOLOGIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude appartient au domaine d'Antananarivo qui correspond aux hauts plateaux du centre de Madagascar. Elle comprend un substratum et une zone volcanique. Le substratum est de nature gneissique et date du néo-Archéen.

Le substratum forme le fond de deux bassins sédimentaires formés au cours d'une période d'extension intracontinentale. Les sédiments seraient déposés légèrement auparavant ou de manière synchrone au magmatisme de la suite d'Imorona-Itsindro, c'est-à-dire au Méso-protérozoïque entre 820 et 760Ma. (BESAIRIE, 1971)

La zone volcanique est la plus étendue et occupe tout le centre de la zone. Elle correspond à des zones de hauts plateaux sur lesquelles se dressent des reliefs plus ou moins importants et plus ou moins serrés. (Figure 3)

Selon G NOISET (1963), les roches mères de ces zones volcaniques sont formées :

- à la base par des épanchements de lave trachytoïdiques datant de la fin du tertiaire et par conséquent contemporaine de la formation des massifs phonolitiques, suivie d'une longue période d'érosion, séparée d'époques plus agitées avec émission de cendres et scories.

Les laves trachytoïdiques englobent des rhyolites, trachytes calco-alcalins, trachyphonolites et quelques phonolites, les trachytes sont moins riches en silice et apparaît un feldspathoïde : la néphéline. Les reliefs trachytiques sont fortement réduits par l'érosion.

- Les épanchements basaltiques recouvrent les reliefs trachytiques en pliocène, et sont à l'origine des basaltes avec types minéralogiques variés, compacts, riches en zéolithes, à olivine sans feldspath avec de la néphéline et de la mélinite désignée sous le nom d'Ankaratrite. Actuellement, elles sont toutes profondément altérées et ferrallitisées, les affleurements de roche saine sont rares.

Les émissions considérables de laves au mio-Pliocène et le bombement continu du socle ont eu pour conséquence au Pliocène des réajustements tectoniques qui se sont traduits par des effondrements le long de lignes de fractures antérieures (LENOBLE, 1938):

- La faille du Betampona
- La faille du Mandray

Le rejet de la faille de Betampona sur la bordure orientale de la plaine a provoqué en aval le barrage de coulée qui a engendré la formation du lac d'Ambohibary.

La cuvette d'Ambohibary se trouve au milieu des massifs volcaniques dont l'altitude est sensiblement égale à 1650 mètres (figure 4), et l'épaisseur des sédiments lacustres est profonde au Sud près de 200 m. Elle constitue les zones de rizières. (LENOBLE, 1938)

L'ordre de superposition et la situation respective des coulées et des appareils volcaniques, leur fraîcheur, permettent de définir l'ordre chronologique des diverses éruptions de l'Ankaratra.

Le tableau 01 renseigne sur la datation des émissions volcaniques.

Tableau 01: Ordre chronologique et ordre d'émission des roches de l'Ankaratra (BESAIRIE, 1971)

	Age	Roches émises
Série supérieure	Quaternaire	Basanitoïde, basanite
	Pléistocène	Ankaratrite, basalte
	Pliocène supérieur	Basalte, andésite
Série inférieure	Pliocène moyen	Trachyte, trachyphonolite
	Pliocène inférieur	Trachyte, andésite, rhyolite

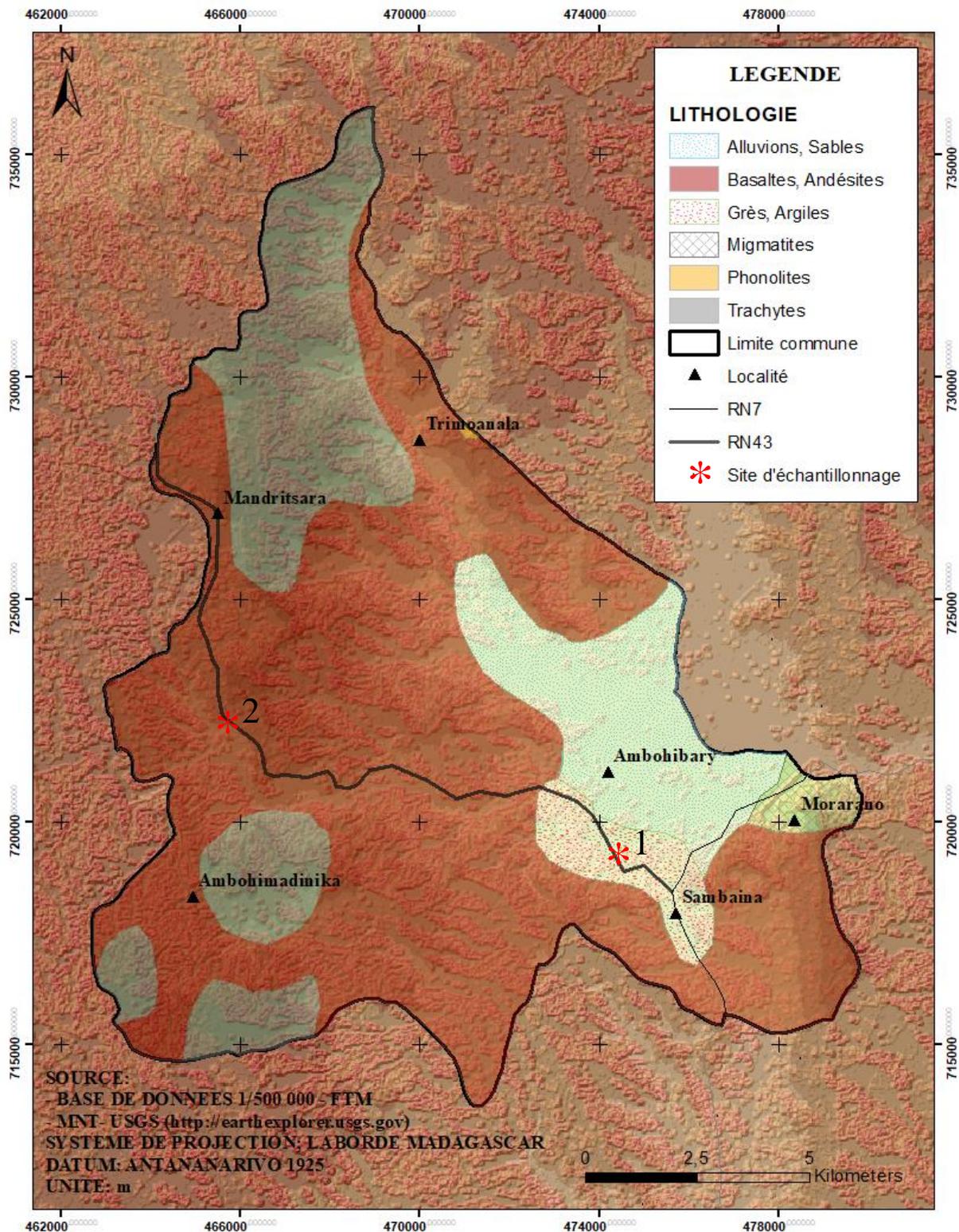


Figure 03 : Extrait de carte géologique de la commune d'Ambohibary (FTM, 2015)

I.3 : CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Le relief est accidenté avec des dénivellations de plusieurs centaines de mètres en pente raide (Figure 05) qui sont dominés par de profondes et longues dépressions que les cours d'eau et torrents ont transformées en plaines alluviales. (BATTISTINI, 1964)

La plaine d'Ambohibary-Sambaina s'ouvre comme une immense dépression sur le flanc Sud-Est du massif montagneux et qui est la plus vaste et importante plaine à l'intérieure de l'Ankaratra. Elle présente une allure triangulaire orientée autour d'un axe nord-sud de 15 km.

De hautes chaînes montagneuses culminent de 1.800 mètres jusqu'à 2.000 mètres d'altitude (Figure 04). La forme de ces montagnes est obtenue par une érosion active, et très fraîche. À l'Est les laves basaltiques prolongent l'escarpement rectiligne. À l'ouest, les laves se déversent vers le Sud-Est en une succession de coulées que l'érosion a découpé. (BOURGEAT, 1967)

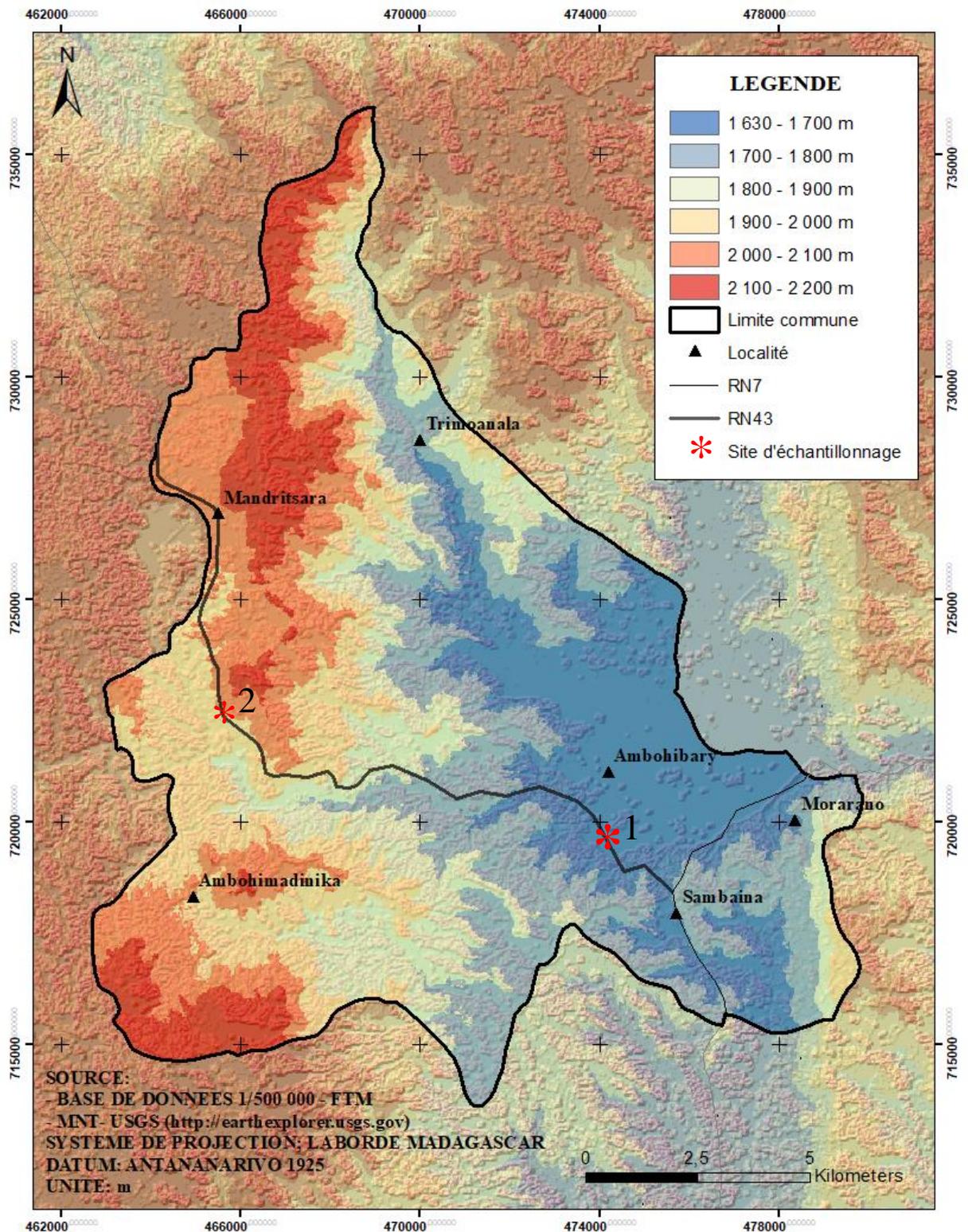


Figure 04 : Extrait de la carte d'altitude de la commune d'Ambohibary (FTM, 2015)

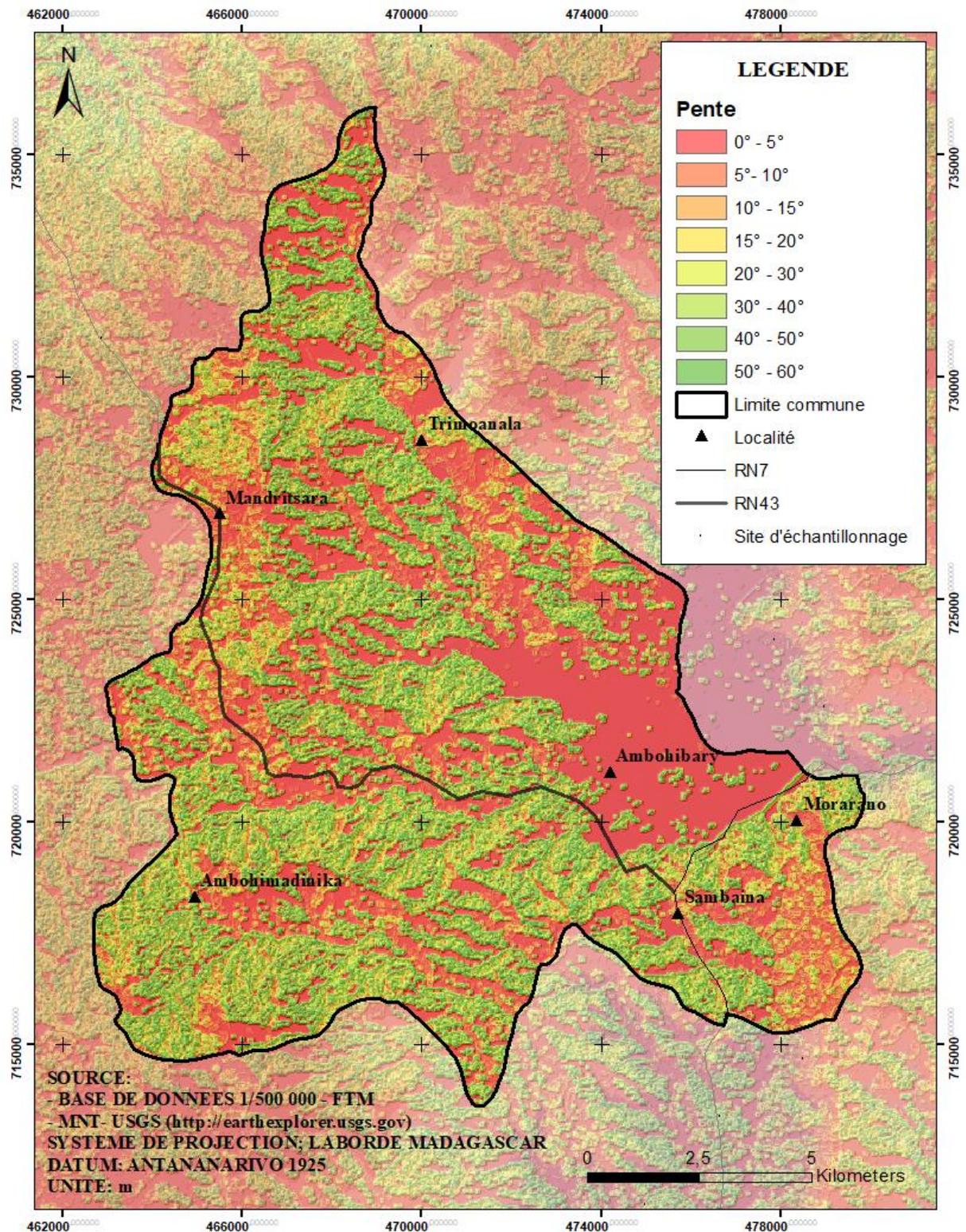


Figure 05 : Carte des pentes de la commune d'Ambohibary (FTM, 2015)

I.4 : CONTEXTE CLIMATIQUE

La température moyenne annuelle dans la commune d'Ambohibary est de 16°C. Les précipitations annuelles moyennes sont de 1471 mm avec une différence de 280 mm qui est enregistrée entre le mois le plus sec et le plus humide. (DGM, 2018)

Par raison de son haute altitude, le climat de la commune d'Ambohibary fait partie du régime climatique tropical d'altitude, supérieure à 900 mètres. De ce fait, la commune a un climat chaud en été et froid en hiver.

L'année comporte deux saisons bien individualisées :

- Une saison de pluie qui s'étale d'octobre à avril ;
- Une saison sèche de mai à septembre, à noter également la présence des brouillards en saison sèche.

D'après la table climatique (tableau 2), entre le mois d'octobre à avril, la température moyenne mensuelle dans la commune d'Ambohibary est de 17,9°C, et de 13,2°C entre mai – septembre. Soit, la température moyenne annuelle est caractérisée par une température inférieure à 20°C.

Le diagramme climatique d'Ambohibary de la figure 05 montre que la température moyenne annuelle est inférieure à 20°C et la précipitation est minimale le mois de juin à septembre.

Tableau 02 : Table climatique d'Ambohibary

	Température moyenne (°C)	Température minimale (°C)	Température maximale (°C)	Précipitations (mm)
Janvier	18,9	13,6	24,2	295
Février	18,6	13,2	24,1	264
Mars	18,5	13,1	23,9	208
Avril	17,1	10,9	23,4	90
Mai	14,8	7,7	21,9	37
Juin	12,6	5,3	19,9	19
Juillet	11,6	5,3	18,6	16
Août	12,5	5,4	19,8	15
Septembre	14,2	6,5	22	25
Octobre	16,5	8,9	24,2	74
Novembre	17,9	11,2	24,6	165
Décembre	18,3	12,6	24,1	263

Source : Direction de la Météorologie et de l'Hydrologie d'Ampandrianomby – Antananarivo, 2018

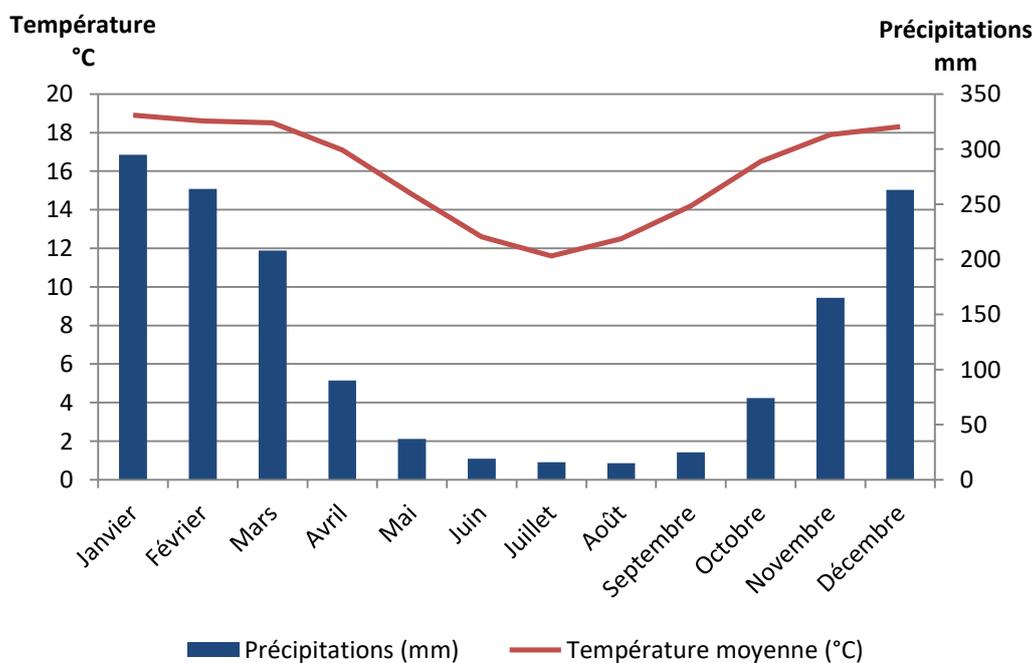


Figure 06 : Diagramme climatique d'Ambohibary-Sambaina (DGM ,2018)

I.5 : SOLS ET VEGETATIONS

- Sols

L'éperon montagneux est formé par des sols ferralitiques et la cuvette d'inondation de sols hydromorphes entrant dans la catégorie des sols à Gley.

✓ *Les sols ferralitiques*

Ces sols sont développés sur les basaltes, et occupent une grande partie dans la commune.

Selon SEGALLEN (1957) ils sont caractérisés par :

- couleur rouge foncé;
- homogènes ;
- épaisseur 1,5 à 3 mètres ;
- consistance friable ;
- La texture est très argileuse (50 à 70 % d'argile).

✓ *Le sol à Gley*

Les sols de la cuvette d'inondation entrent dans la catégorie des sols à Gley, il est caractérisé par :

- une proportion argileuse de 36 à 40%
- une couleur grisâtre
- une structure grumeleuse
- une épaisseur 40 à 60 cm.

La RNS43 passe par la bordure de la cuvette dont le sol appartient au sous-groupe des sols à pseudo-Gley ou sols hydromorphes minéraux qui sont très souvent très argileux.

Végétation

Il ne reste qu'une faible couverture végétale dans la commune d'Ambohibary. Quelques vestiges de forêt *Mimosa* à faible densité, des arbres fruitiers ainsi que des plantations de maïs couvrent en général cette zone.

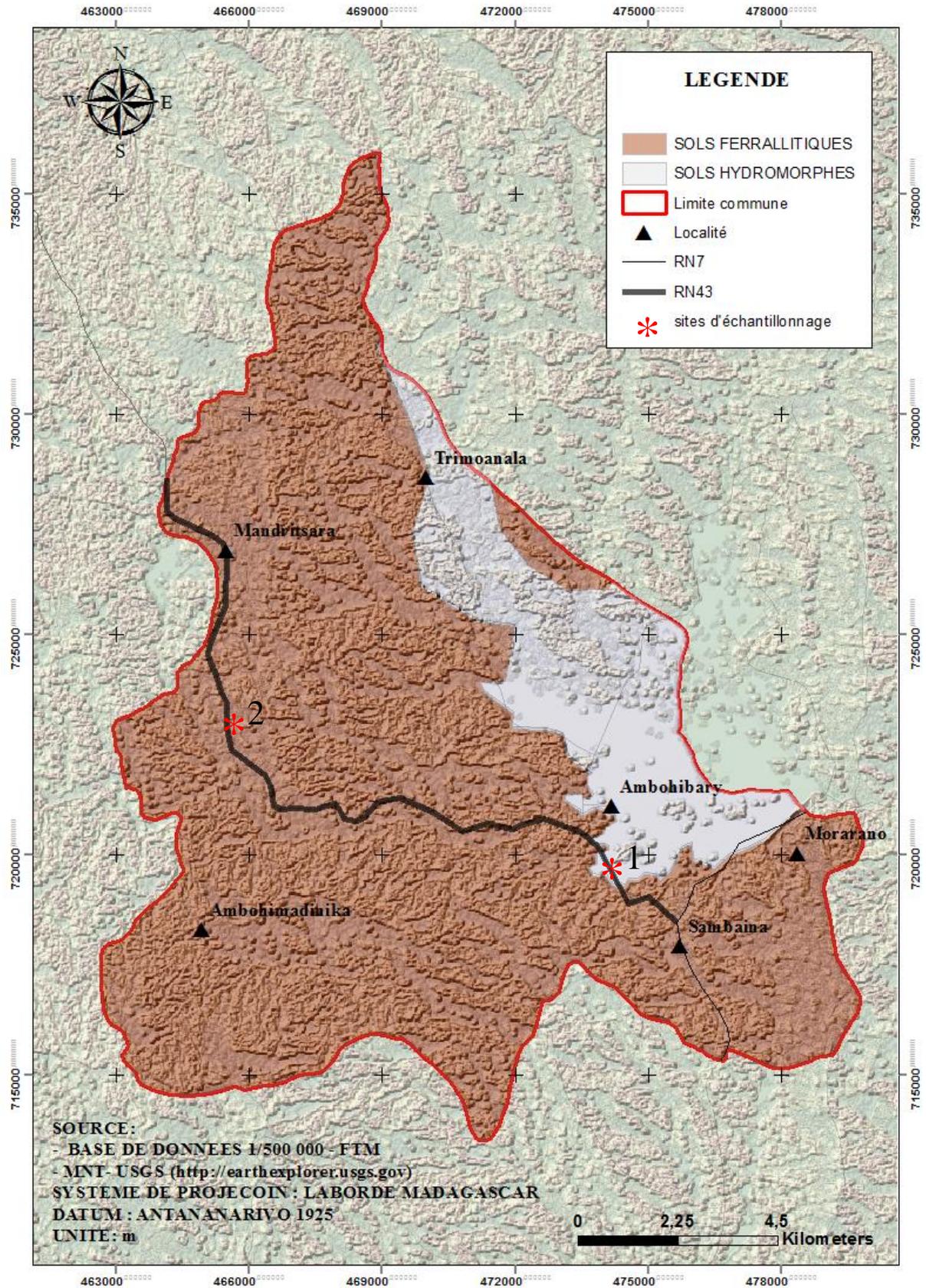


Figure 07: Extrait de carte pédologique (FTM, 2015)

I.6 CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

La commune d'Ambohibary est drainée par deux rivières dont :

- la rivière d'Amborompotsy qui se trouve à l'Ouest de la zone et parfois traversée par la route ;
- et la rivière de Trimoanala au Nord-Est de la zone.

D'après la carte hydrographique figure 07, le réseau est assez hiérarchisé et il y a des rivières temporaires qui ne sont drainées qu'à forte précipitation, et les rivières permanentes s'écoulent vers un exutoire commun à l'aval : Rivière Ilempona.

Les rivières Ilempona et Amborompotsy confluent au centre de la plaine et s'écoulent vers l'Est pour devenir Onive à quelques kilomètres.

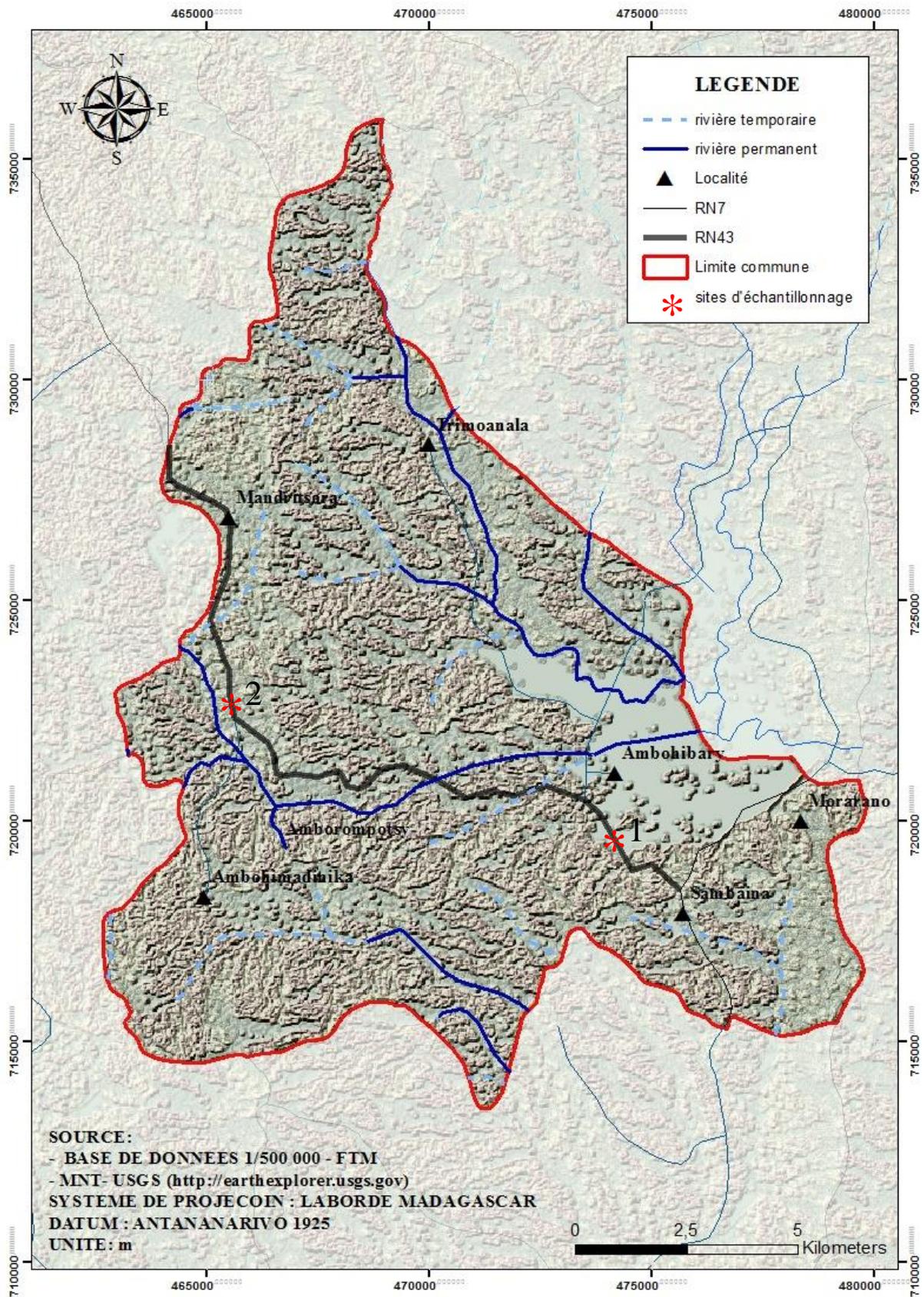


Figure 08 : Extrait de carte hydrographique

Conclusion partielle

La géologie de la zone d'étude présente une zone volcanique à l'intérieur de laquelle se trouve une plaine.

Les sols observés sont des sols ferrallitiques développés sur roche basaltique de proportion argileuse allant de 50 à 70 % et des sols argileux d'origine lacustre ayant une proportion argileuse de 36 à 40 % selon les études bibliographiques.

La proportion argileuse est vérifiée par les analyses au laboratoire des échantillons de ces sols afin de connaître la proportion réelle de ces éléments.

CHAPITRE II : ESSAIS EN LABORATOIRE

Le tableau 03 présente la localisation des sites d'échantillonnages

Tableau 03 : Localisation des sites d'échantillonnages

Localisation	RN43	
Échantillons	01	02
PK	123+ 900	PK 115+700
Nature visuelle	Argile limoneuse grisâtre	Argile limoneuse rougeâtre

Deux échantillons ont été recueillis figure 03, figure 04, figure 06, figure 07, et tableau 03 pour les études au laboratoire.

Les essais en laboratoire permettent de donner la nature de l'échantillon étudié et de connaître son indice de portance.

II.1 ESSAI D'IDENTIFICATION

Pour une étude géotechnique, les essais d'identification nécessaires sont :

- La détermination de la teneur en eau ;
- L'analyse granulométrique ;
- Limites d'Atterberg ;
- Le poids spécifique des particules solides.

II.1.1 ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer les proportions pondérales des grains de différentes tailles dans le sol.

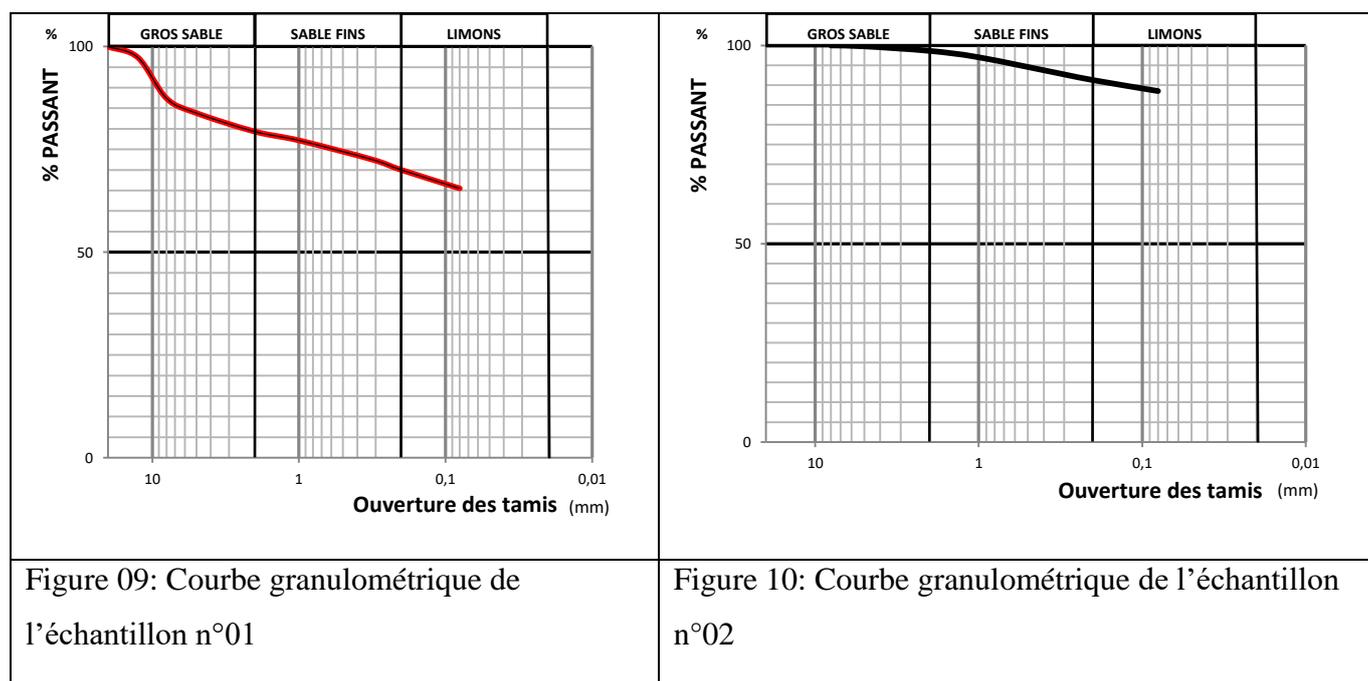
Le principe consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis à mailles carrées les échantillons dont on veut connaître la granulométrie.

Les résultats de l'analyse granulométrique pour les deux échantillons sont présentés dans le tableau 04 et la courbe granulométrique dans la figure 08, et la figure 09.

Tableau 04 : Résultats des analyses granulométriques des échantillons

Échantillon TAMIS	1			2		
	REFUS CUMULE	% REFUS	% PASSANT	REFUS CUMULE	% REFUS	% PASSANT
20		0,00	100			
12,5	15	2,69	97			
8	70	13	87	0	0,00	100
5	90	16	84	1	0,23	99,8
2	115	21	79	6	1	99
1	127	23	77	13	3	97
0,315	153	27	73	31	7	93
0,2	167	30	70	38	9	91
0,08	192	34	66	50	12	88
Rn + Tn	193			50		
Rn + Tn /MS1	100%			100%		

Tableau 05 : Comparaisons des courbes granulométriques des échantillons



D'après les courbes granulométriques (figure 08 et 09), l'échantillon n°1 est constitué de 65% de fines ; et l'échantillon n° 02 est constitué de 88 % de fines.

➤ Plus de 50% des grains constituant les échantillons sont des fines, ce sont des SOLS FINS. Le comportement (sensibilité à l'eau) des échantillons peut être régi par cette grande fraction de fine.

II.1.2 LIMITE D'ATTERBERG

L'essai consiste à déterminer la limite de liquidité ω_L et la limite de plasticité ω_p pour avoir l'indice de plasticité $I_p = \omega_L - \omega_p$.

- La recherche de la limite de liquidité ω_L se fait à l'aide de l'appareil de Casagrande,
- et la recherche de la limite de plasticité par formation de rouleaux de 3 mm de diamètre.



LIMITE DE LIQUIDITE

La limite de liquidité est la teneur en eau du matériau qui correspond à une fermeture sur 1 cm des lèvres de la rainure après 25 chocs. C'est le seuil de passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique.

Les tableaux 06 illustre les résultats obtenus lors de la détermination de ω_L

Tableau 06 : Présentation des limites de liquidité des échantillons

Figure 11 : Détermination du ω_L de l'échantillon n°01	Figure 12 : Détermination du ω_L l'échantillon n°02
$\omega_L = 44,9\%$	$\omega_L = 59\%$

LIMITE DE PLASTICITE

La limite de plasticité est la teneur en eau d'un sol qui a perdu sa plasticité et se fissure en se déformant lorsqu'il est soumis à de faibles charges. C'est le seuil de passage d'un sol de l'état plastique à l'état solide.

La mesure de ω_p se fait après celle de la limite de liquidité, avec le même échantillon qui sera séché à l'air et que l'on roule sur la plaque de marbre ou de verre, de façon à former un rouleau que l'on amincit progressivement jusqu'à 3mm de diamètre. ω_p est la teneur en eau au-dessous de laquelle il n'est plus possible de confectionner avec le sol des rouleaux.

Les résultats de la détermination de ω_p sont récapitulés dans le tableau 07 :

Tableau 07 : Calcul de la limite de plasticité des échantillons

LIMITE DE PLASTICITÉ				
Échantillons	1		2	
Tare N°	76	157	10	157
Poids tare(1)	15,2	14,27	13,66	14,27
Poids total humide (2)	19,35	19,65	21,17	21,09
Poids total sec (3)	18,56	18,63	19,9	19,94
Poids d'eau (4)=(2)-(3)	0,79	1,02	1,27	1,15
Poids matériau sec (5)=(3)-(1)	3,36	4,36	6,24	5,67
Teneur en eau $\omega\%$ (4)/(5)	23,51	23,39	20,3	20,28
Teneur en eau moyenne	23,5%		20,3%	

❖ Calcul de l'indice de plasticité et l'indice de consistance

Tableau 08 : Présentation de l'indice de plasticité et l'indice de consistance des échantillons

Echantillon	1	2
ω	29.7%	31%
ω_L	44,9%	59%
ω_p	23,5%	20,3%
$I_p = \omega_L - \omega_p$	21,4 %	38,7%
$I_c = (\omega_L - \omega) / I_p$	0.7	0,72

Tableau 09 : Classification de l'argilité d'un sol selon l'indice de plasticité (CALLAUD, 2004)

Indice de plasticité IP	État du sol
0-5	Non plastique
5-15	Peu plastique
15-40	Plastique
>40	Très plastique

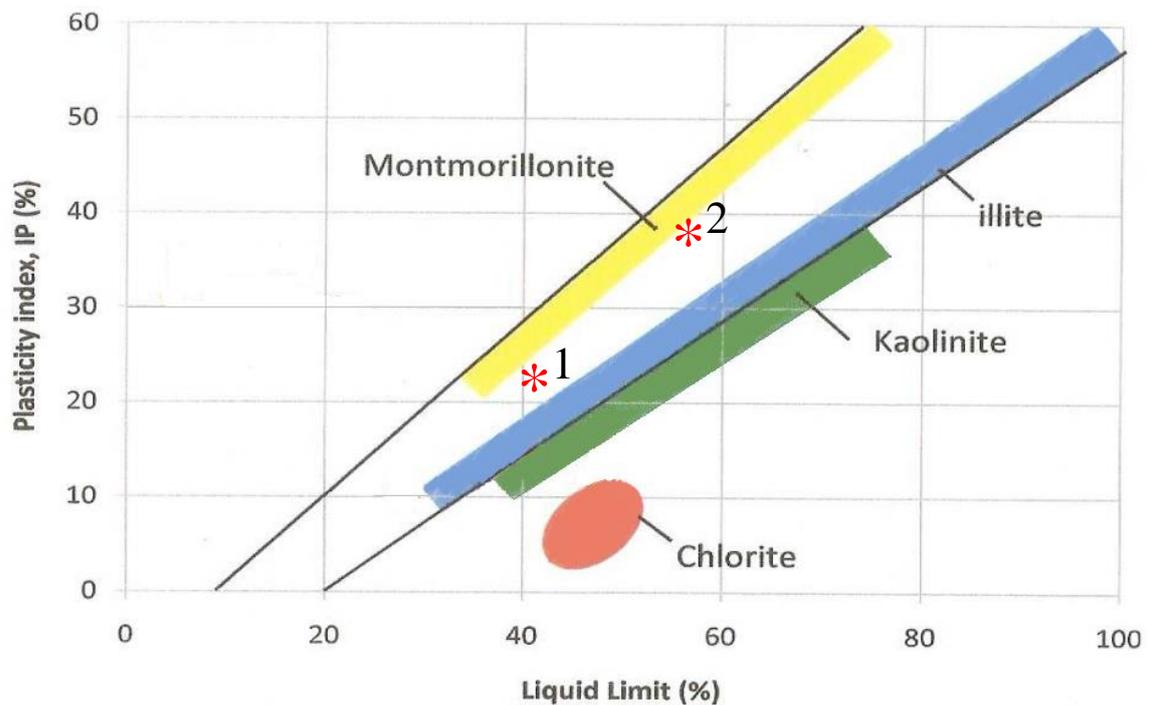
Tableau 10 : Etat du sol en fonction de l'indice de consistance. (CALLAUD, 2004)

Indice de consistance I_c	État du sol
$I_c > 1$	solide
$0 < I_c < 1$	plastique
$I_c < 0$	liquide

L'indice de plasticité des échantillons de sol est de 21.4% et 29%, compris entre 15 à 40% (tableau 09), et l'indice de consistance est de 0.7 et 0.72, comprise entre [0;1], selon CALLAUD, (2004) l'état des échantillons est plastique.

Les échantillons sont plastiques c'est-à-dire qu'ils sont sensibles à la variation de la teneur en eau.

Type d'argile en fonction de l'Ip et de ω_L



*Echantillons

Figure 13: Type d'argile en fonction de l'indice de plasticité et la limite de liquidité (OHLMACHER, 2000)

La figure 12 montre que l'argile contenue dans l'échantillon n°01 et n°02 est entre le type illite et la montmorillonite.

Les sols influencés par la présence de la montmorillonite sont très néfastes aux variations de la teneur en eau, puisque nos échantillons contiennent de l'illite et de la montmorillonite qui ont toutes les deux la même structure (type 2/1) mais la capacité d'absorption en présence d'eau est différente.

II.1.3 CLASSIFICATION GÉOTECHNIQUE

❖ Tableau 11 : **Classification HRB** (KHALED MEFTAF, 2008)

	% passant à 0,080 mm <35%							passant à 0,080 mm >35%				
	A ₁		A ₃	A ₂				A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	
	A _{1a}	A _{1b}		A ₂₋₄	A ₂₋₅	A ₂₋₆	A ₂₋₇				A ₇₋₅	A ₇₋₆
% passant à												
2mm	≤50											
0.40mm	≤30	≤50	≤51									
0.08mm	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	≥36	≥36	≥36	≥36	≥36
Ip	<6	<6		≤10	≤10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥11	≥11	≤11
ω _L				≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≥41
											IP < ω _L - 30	IP > ω _L - 30
Indice de groupe	0		0	0		≤4		≤8	≤12	≤16	≤20	≤20
Appellation générale	Cailloux-graviers-sable		Sable fin	Mélange de graviers limoneux ou argileux avec des sables limoneux ou argileux				Sols limoneux		Sols argileux		

Tableau 12 : Récapitulation des résultats d'essais d'identification des échantillons.

Échantillons	% passant 0.08 mm	Ip	ω _L	ω _L -30	classe
1	65	21,4%	44,9%	14,9	A₇₋₆
2	88	38,7%	59%	29	A₇₋₆

Les échantillons ont un pourcentage de passant au tamis de 0.08 mm supérieur à 35%, un $Ip > 11$ et $\omega_L > 41$, la valeur de l'Ip est strictement supérieur à $(\omega_L - 30)$; selon la classification HRB (tableau 13); ils appartiennent aux classes de sol **A₇₋₆** qui sont des **sols argileux**.

❖ Classification LPC

La figure 13 permet de classer l'échantillon en fonction de l'indice de plasticité et de la limite de liquidité telle que :

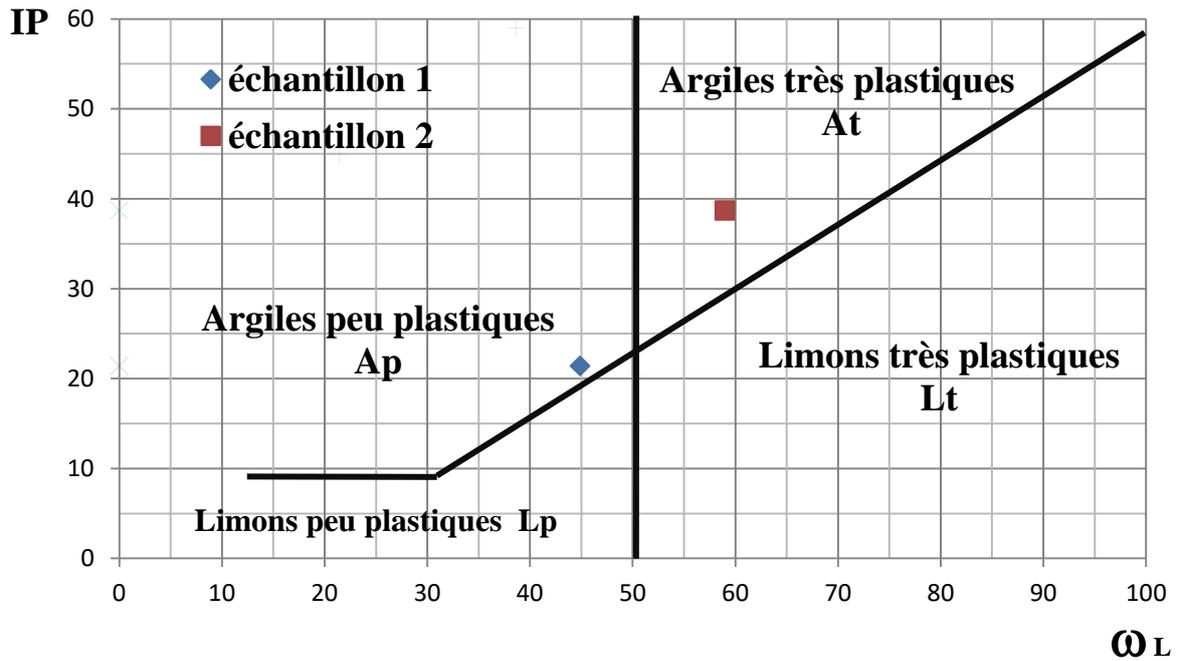
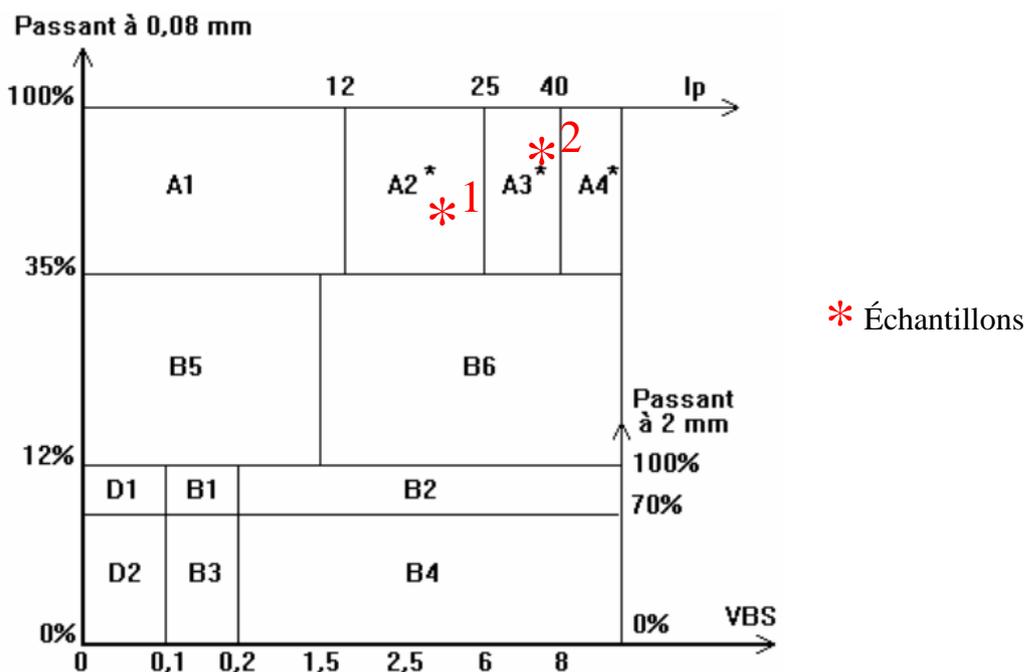


Figure 14 : Diagramme de plasticité (KHALED MEFTAF,2008)

- L'échantillon n°01 a un indice de plasticité de $I_p=21,4\%$ et une limite de liquidité de $44,9\%$, on peut donc classer le sol parmi la classe des **Argiles peu plastiques (AP)**.

- L'échantillon n°02 a un indice de plasticité $I_p=38,7\%$ et une limite de liquidité = 59% ce qui le classe parmi les **Argiles très plastiques (AT)**.

❖ Tableau 13: Classification GTR (GTR, 2000)



Selon la classification GTR (tableau 13)

- L'échantillon n°01 a un pourcentage de passant au tamis 0.08 mm supérieur à 35% avec un indice de plasticité $12 < I_p < 25$ ($I_p=21.4\%$), le tableau 14 nous permet de classer l'échantillon parmi les **sols fins de classe A₂** (sables fins argileux, limons n argiles et marnes peu plastiques, arènes...).

Le caractère moyen de ces sols fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée). Dès que l' I_p atteint des valeurs ≥ 12 , il constitue le critère d'identification le mieux adapté (SETRA, 2000).

- L'échantillon n°02 a un pourcentage de passant au tamis de 0.08 mm supérieur à 35% avec un indice de plasticité $25 < I_p < 40$ ($I_p=38,7\%$), la figure 18, nous permet de classer l'échantillon parmi les **sols fins de classe A₃** (argile et argiles marneuses, limons très plastique...).

Ces sols sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, et collant ou glissant à l'état humide, d'où difficulté de mise en œuvre sur chantier (et de manipulation en laboratoire). Leur perméabilité très réduite rend leurs variations de teneur en eau très lentes et une augmentation de la teneur en eau est nécessaire pour changer leur consistance. (SETRA, 2000)

\Conclusion

Cette partie nous permet de dire que les échantillons extraits sur la RNS 43 sont des sols fins argileux, plastiques à très plastiques, et constitués par des minéraux argileux de type entre la montmorillonite et l'illite.

II.2 ESSAIDE COMPACTAGE ET DE PORTANCE

II.2.1 ESSAI PROCTOR

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale (ω_{opt}) et des conditions de compactage fixées pour un sol donné, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale c'est-à-dire à la recherche de la densité maximale (γ_{dmax}).

Le principe est de varier la teneur en eau d'un échantillon et à le compacter, pour chacune des teneurs en eau, selon un procédé et une énergie conventionnelle et on détermine la masse volumique sèche du matériau et on trace la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

Le tableau 14 détaille les résultats de l'essai Proctor des échantillons.

Tableau 14: Comparaison des courbes Proctor des échantillons

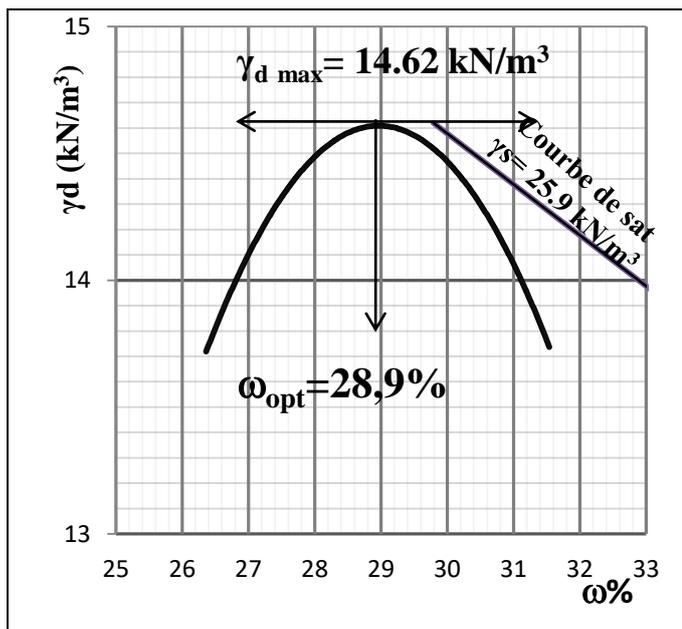


Figure 15: Courbe Proctor de l'échantillon n°01

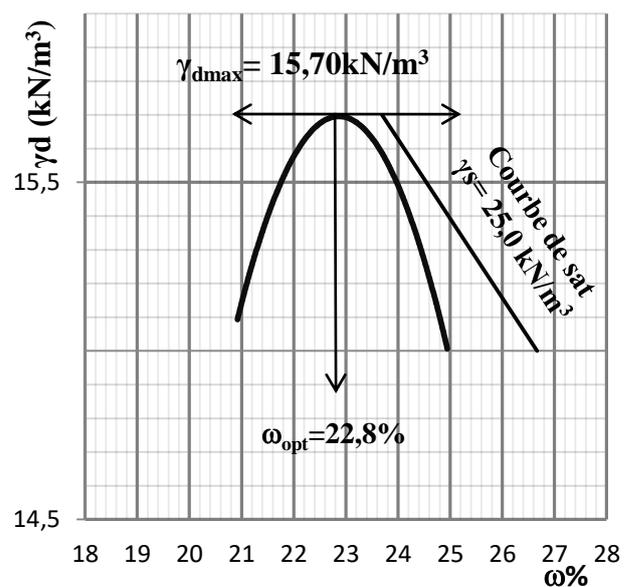


Figure 16: Courbe Proctor de l'échantillon n°02

Tableau 15: Présentation des résultats de l'essai Proctor

Echantillons	1	2
γ_D max	14.62 kN/m ³	15,70 kN/m ³
ω_{opt}	28.9%	22,8%

Les courbes Proctor présentent une maximale très marquée de 14,62 kN/m³ et de 15,70 kN/m³ qui nous permet de dire que les échantillons sont plastiques.

COURBE DE SATURATION

La courbe de saturation est une enveloppe de la courbe de compactage qui correspond à l'état saturé du sol. Elle indique le pourcentage d'eau nécessaire pour saturer le sol ayant un poids volumique sec connu, ce qui permet de vérifier si les résultats du compactage sont correctes.

II.2 .2 ESSAI CBR

L'essai CBR est un essai de portance, c'est-à-dire l'aptitude à supporter les charges des remblais et des couches de formes variées.

L'indice portant CBR est une grandeur utilisée pour caractériser un sol ou un matériau élaboré, en tant que support ou constituant d'une structure de chaussée ;

Le principe consiste à compacter la prise à une teneur en eau optimale et à 25 coups par couche de 5 couches, imbibée dans l'eau durant 4 jours puis poinçonnement.

L'essai CBR est fait seulement après l'essai Proctor pour déterminer l'énergie et l'indice de Compacité.

Les résultats de l'essai CBR sont présentés dans le tableau 16.

Tableau 16 : Résultats du poinçonnement des échantillons

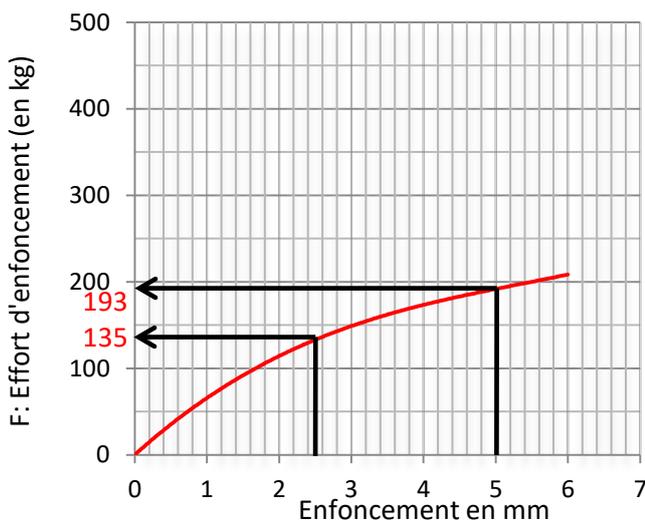


Figure 17: Courbe de poinçonnement de l'échantillon n°1

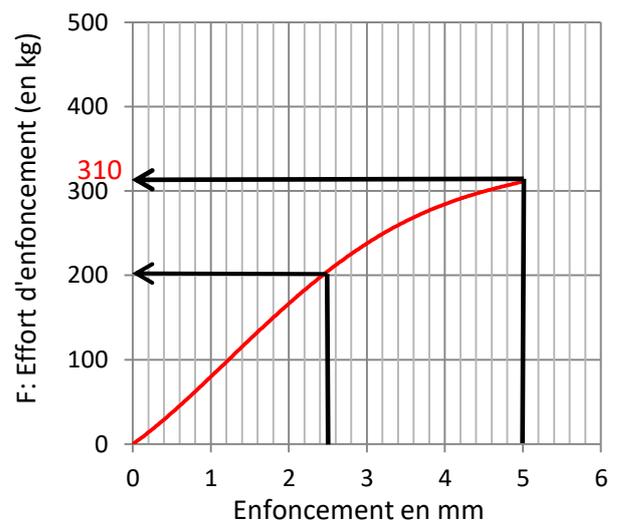


Figure 18: Courbe de poinçonnement de l'échantillon n°02

Calcul de l'indice portant

Tableau 17 : Calcul de l'indice portant CBR

échantillons	1	2
Force F en Kg	25 coups	
A 2,5mm $\frac{F(2,5)}{13,51}$	10	15
A 5 mm $\frac{F(5)}{20,265}$	10	15
CBR= max $\left[\frac{F(2,5)}{13,51} \times \frac{F(5)}{20,265} \right]$	10	15

Tableau 18 : Classification du sol selon l'indice portante du sol (LIAUTAUD, 1984)

Classe de portance	CBR
Très faible portance (S1)	<5
Faible portance (S2)	5-10
Moyenne portance (S3)	10-15
Portance élevée (S4)	15-30
Portance très élevée (S5)	>30

L'échantillon n°01 est classé parmi les sols de classe S2 (faible portance) et l'échantillon n°02 appartient aux classes S3 (moyenne portance). La détermination de ces classes est très importante puisque l'épaisseur de la structure de la chaussée lui dépend ; si le sol est de faible portance, l'épaisseur de la couche est grande et si la portance est élevée il est minimal.

Conclusion partielle

Le chapitre soussigne les études au laboratoire qui ont permis de donner la classe géotechnique et la portance de chaque échantillon, ce sont des sols argileux plastiques à très plastique et contiennent des montmorillonites, la portance est faible et moyenne.

Les caractéristiques de ces sols nécessitent un traitement pour augmenter la portance du sol avec l'utilisation des produits nanotechnologiques : Terrasil et Zycobond.

Les caractéristiques des produits nanotechnologiques et les types d'argile sont présentés dans le chapitre III.

CHAPITRE III : PRESENTATION DES PRODUITS NANOTECHNOLOGIQUES ET GENERALITES SUR L'ARGILE

III.1 TERRASIL

Le Terrasil est un organo-silane à base de nanotechnologie, il s'agit d'un modificateur de sol réactif, stable à la chaleur. (ZYDEX, 2016)

➤ Utilisation

Produit chimique recommandé pour la stabilisation de sol et imperméabilisation.

➤ Composition

Tableau 19 : Composition du Terrasil

Composant	Concentration (%)
Alcoxy-alkylsilyl	65-70
Alcool benzylique	25-27
Éthylène-glycol	3-5

Source : ZYDEX, 2016

➤ Propriétés

Tableau 20: Caractéristique du Terrasil

Paramètre	Valeur
Etat physique	liquide
Couleur	jaune pâle
Point d'inflammabilité	>75°C
Point d'ébullition	200°C
Densité	1.01 – 1.05 g/ml
Viscosité	100-500 Pa.s
pH	10



Figure 19 :Terrasil

➤ Caractéristiques

Le Terrasil est un produit chimique non nocif qui est composé par de l'alkyle siloxane ; il est soluble dans l'eau, peut être utilisé avec tout type de sol et permet d'assurer une longue durée de vie aux sols traités. Il est caractérisé par :

✓ Expansion :

L'augmentation du volume du sol par absorption d'eau provoque généralement une ondulation et la fissuration de la couche bitumineuse.

L'expansion du Terrasil réduit le gonflement du sol ce qui conduit aux réductions des fissures.

✓ Imperméabilité

L'ajout du Terrasil réduit la perméabilité de 10^{-5} cm/s permet la pénétration de l'eau par remontée capillaire et percolation à 10^{-7} cm/s, ce qui signifie qu'il faudra au moins 100 jours pour passer à travers la couche imperméable

✓ Compacité

La nano couche d'alkyl siloxane échinée sur les particules du sol protège l'effet de repousse entre les particules du sol et offre un meilleur graissage pour le compactage ; et on peut atteindre les densités Proctor de 100 à 105.

III.2.ZYCOBOND

Le Zycobond est un modificateur du sol stable au rayon ultraviolet et à la chaleur. C'est un copolymère nano acrylique soluble dans l'eau (ZYDEX, 2016).

Il complète les méthodes de stabilisation en favorisant l'adhésion aux particules du sol.

➤ Utilisation

- Le Zycobond est utilisé pour le dépoussiérage sur des routes de gravier et pour coller dans la construction et les enduits.
- Il est aussi nécessaire à l'augmentation de la portance des sols argileux

➤ Composition

Tableau 21: Composition du Zycobond (ZYDEX, 2016)

Composant	Concentration (%)
Quaternary ammonium compounds	1-5
Methanol	0,1-0,2
Acide acétique	0,2-1
Acrylic co polymer	34-36
Eau	3-5

Tableau 22 : Propriétés du Zycobond

Paramètre	Valeur
Etat physique	liquide
Couleur	Blanc laiteux
Odeur	faible
Dimension des particules	95nm
Point d'inflammabilité	>70°C
Point d'ébullition	100°C
Densité	1 - 1.02 g/ml
Viscosité	20 – 200 Pa.s
Solubilité dans l'eau	Partiellement soluble
pH	5.0 – 5.6



Figure 20:Zycobond

III. 3 LES ARGILES

Les argiles proviennent de l'altération chimique des roches et plus exactement des minéraux silicatés (feldspaths, micas,...).

On distingue trois grandes familles.

III. 3.1 FAMILLE DE LA KAOLINITE

Ce sont des argiles de type 1/1, la structure interne de leurs particules est un empilement de plusieurs feuillets de dimension de 7\AA . Ces feuillets sont composés d'une couche de silice et d'une couche d'alumine superposée l'une à l'autre au biais des ions hydrogènes. La structure minéralogique de la kaolinite, en particulier la distance entre les feuillets, ne permet pas aux molécules d'eau de s'y introduire. Le gonflement des argiles Kaolinitiques de ce fait est impossible.

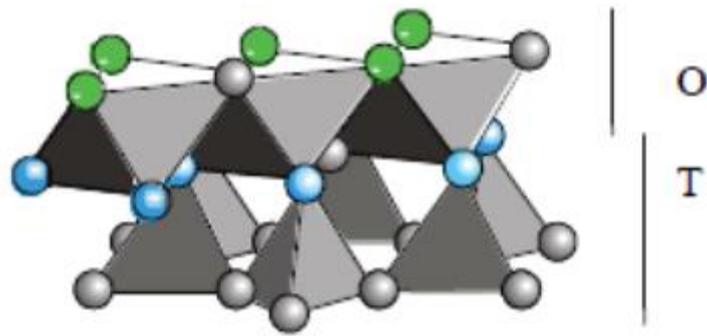


Figure 21: Structure du feuillet de la kaolinite

III. 3.2 FAMILLE DE L'ILLITE

Argile de type 2/1 dont la structure est très proche de celle des micas blancs. L'épaisseur de chaque empilement est d'environ 10\AA et fortement lié les uns aux autres par les ions potassium. Les propriétés sont intermédiaires entre celles de la kaolinite et celles de la montmorillonite.

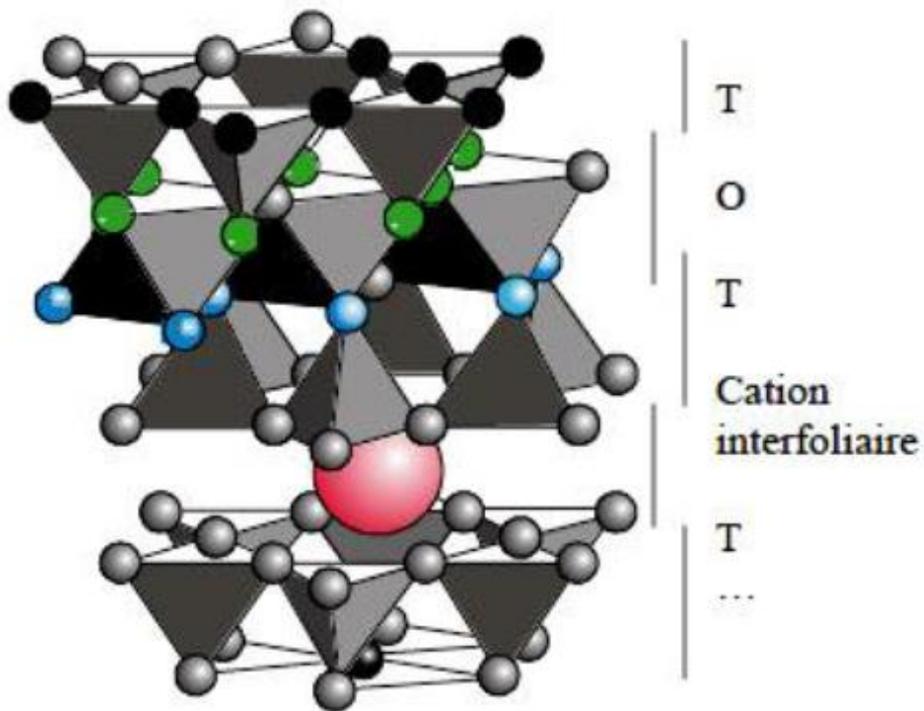


Figure 22: Structure du feuillet de l'illite

III. 3.3 LA FAMILLE DE LA MONTMORILLONITE

Ce sont des argiles de type 2/1, (même structure que les illites) les feuillets sont épais de 10 Å, et très faiblement liés les uns aux autres. Les couches d'eau peuvent se fixer entre les feuillets. Ce matériau est donc gonflant.

III. 3.4 COMPORTEMENT MECANIQUE DES ARGILES

Le comportement mécanique d'une argile est fortement influencé par sa structure cristalline de base. Selon leur type, les argiles se comportent différemment vis-à-vis de l'eau.

Les comportements des argiles vis-à-vis de l'eau sont présentés dans le tableau n°27.

Tableau23 : Comportement des argiles vis-à-vis de l'eau

Type	Kaolinite	Illite	Montmorillonite
Comportement vis-à-vis de l'eau	Stable	Moyennement stable	Instable

III.3. 5 PHENOMENE DU RETRAIT - GONFLEMENT.

➤ LE PHENOMENE DE GONFLEMENT

Les montmorillonites sont instables en présence de l'eau, elles fixent facilement l'eau entre deux feuillets puis celle-ci entre dans les feuillets ce qui entraîne l'augmentation de volume (gonflement inter-foliaire).

Par contre, l'eau pénètre à l'intérieur des particules d'argile (gonflement inter-particulaire), l'ampleur du dégât est moindre ; mais ce type de gonflement affecte toutes les argiles.

PHENOMENE DE RETRAIT

Le retrait apparaît avec la diminution de la teneur en eau, qui se manifeste verticalement par un tassement et horizontalement par l'ouverture des fissures.

Conclusion partielle

Le comportement des sols dépend de la nature des minéraux argileux présent dans sa composition, la kaolinite est stable au gonflement tandis que la montmorillonite et l'illite sont susceptibles de gonflement.

Les échantillons n°01 et n°02 contiennent des minéraux de type montmorillonite et l'illite, ils sont influencés par un gonflement. Il arrive que les effets du gonflement-retrait se composent et sont à l'origine de la faible portance des sols.

Le Terrasil et le Zycobond sont les solutions utilisées pour améliorer les sols et limiter les dégâts causés par le gonflement des argiles et notamment pour l'amélioration de la portance.

Le traitement des échantillons n°01 et n°02 est développé dans le chapitre IV.

CHAPITRE IV : TRAITEMENT DE L'ARGILE

Le traitement des échantillons se fait par stabilisation avec ajout du Terrasil, Zycobond et de ciment, puis le traitement se succède par un compactage. Le Terrasil assure l'imperméabilisation et le Zycobond augmente l'indice de portance CBR.

Le but de ce chapitre est de présenter les résultats du traitement des échantillons extraits sur la RNS43 avec le Terrasil et le Zycobond.

IV.1 : EXPERIMENTATION SUR L'ECHANTILLON N°01

L'objectif est d'augmenter la portance de l'échantillon n°01 par le Terrasil et le Zycobond.

Le traitement se déroule comme suit :

L'échantillon a été séché à l'air libre pendant 24 heures pour avoir la même teneur en eau initiale ;

- ✓ ajout de Terrasil + ciment;
- ✓ ajout de Terrasil + Zycobond ;
- ✓ ajout de Terrasil +Zycobond + ciment.

Les expérimentations sont résumées dans le tableau 23

Tableau 24: Expérimentation sur l'échantillon n°01

ω_{opt} (1)	29.1%		
Teneur en eau initial (2)	15%		
$\Delta\omega$ (1)-(2)=(3)	14,1		
Traitement	TR+ ciment 3%	TR+ ZB	TR+ZB + ciment1%
Poids de l'échantillon (4)	5500g	5000g	5500g
Poids sec (4)/(100+(2))=(5)	4783g	4348g	4783g
Eau ajoutée $\{(5)*(3)\}/100$ (6)	670cm ³	615 cm ³	670 cm ³
Terrasil 1/4 (6) =(7)	170 cm ³	150cm ³	170cm ³
Zycobond	0	150cm ³	170cm ³
Ciment	165g	0	55g

Avec ces mélanges on a fait:

- l'essai Proctor pour voir la variation du γ_{dmax} et ω_{opt}
- et l'essai CBR pour le gonflement absolu et la variation de l'indice portante CBR

Tableau 25: Variation de la courbe Proctor de l'échantillon 1 traité au Terrasil et au Zycobond

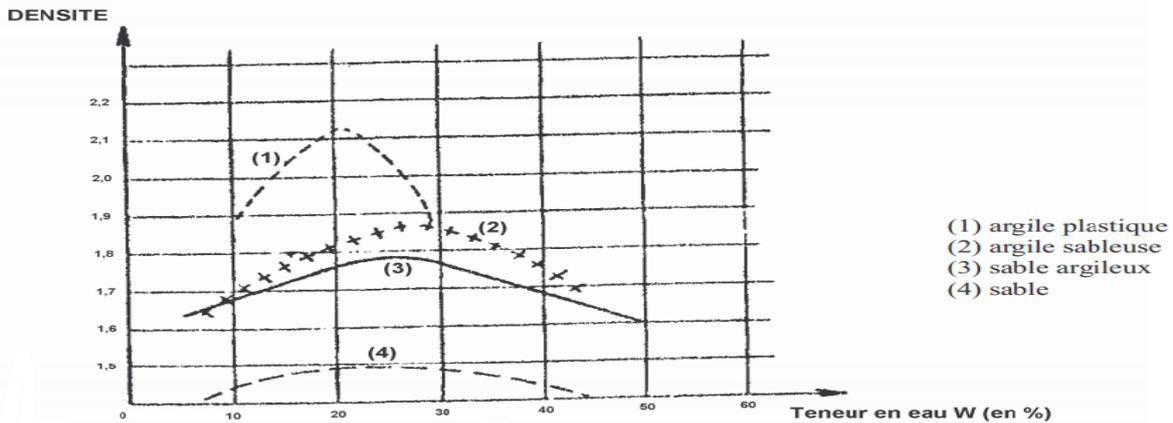
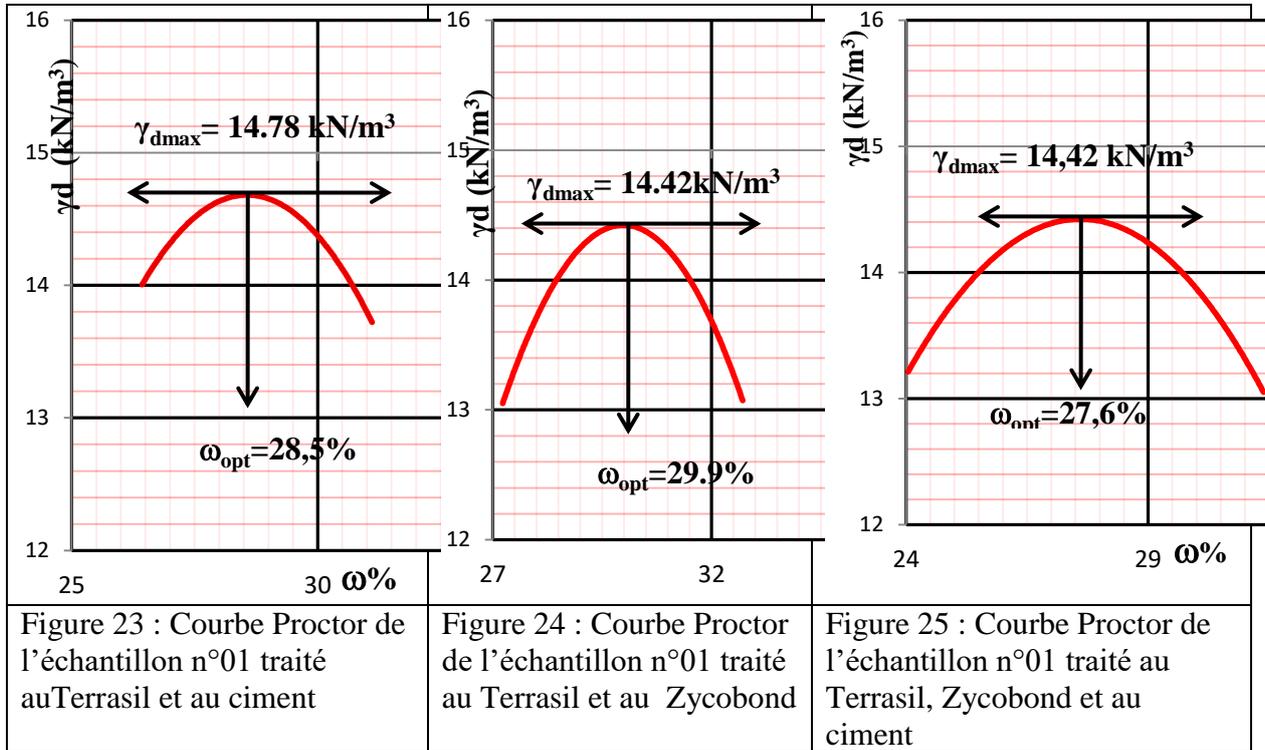


Figure 26 : Influence de la nature du sol sur l'optimum Proctor (M. Callaud, 2004)

De façon générale, la courbe Proctor est très aplatie pour les sables et par contre présente un maximum très marqué pour les argiles plastiques (figure 24).

La courbe Proctor de l'échantillon n°01 traité par Terrasil et le Zycobond est devenue de plus en plus aplatie ce qui explique qu'ils sont peu sensibles à la variation de la teneur en eau.

On observe que la densité maximale est améliorée à $14,78 \text{ kN/m}^3$ avec ajout de Terrasil mais en rajoutant le 25% de Zycobond, la densité maximale diminue à $14,42 \text{ kN/m}^3$.

Cette diminution de $\gamma_{d \text{ max}}$ explique qu'on a compacté l'échantillon n°01 avec une teneur en eau supérieure à celle de la teneur en eau optimale.

L'ajout du Zycobond à l'eau de gâchage nécessite un dosage parce que dans sa composition il contient de l'eau à 3% c'est-à-dire que dans 170 cm^3 de la solution, il y a $5,1 \text{ cm}^3$ d'eau ce qui influe sur le compactage conduisant à la diminution de la densité maximale.

On a pu vérifier que l'échantillon N°01 est très sensible à la variation de la teneur en eau.

La figure 26 nous montre la diminution de $\gamma_{d \text{ max}}$.

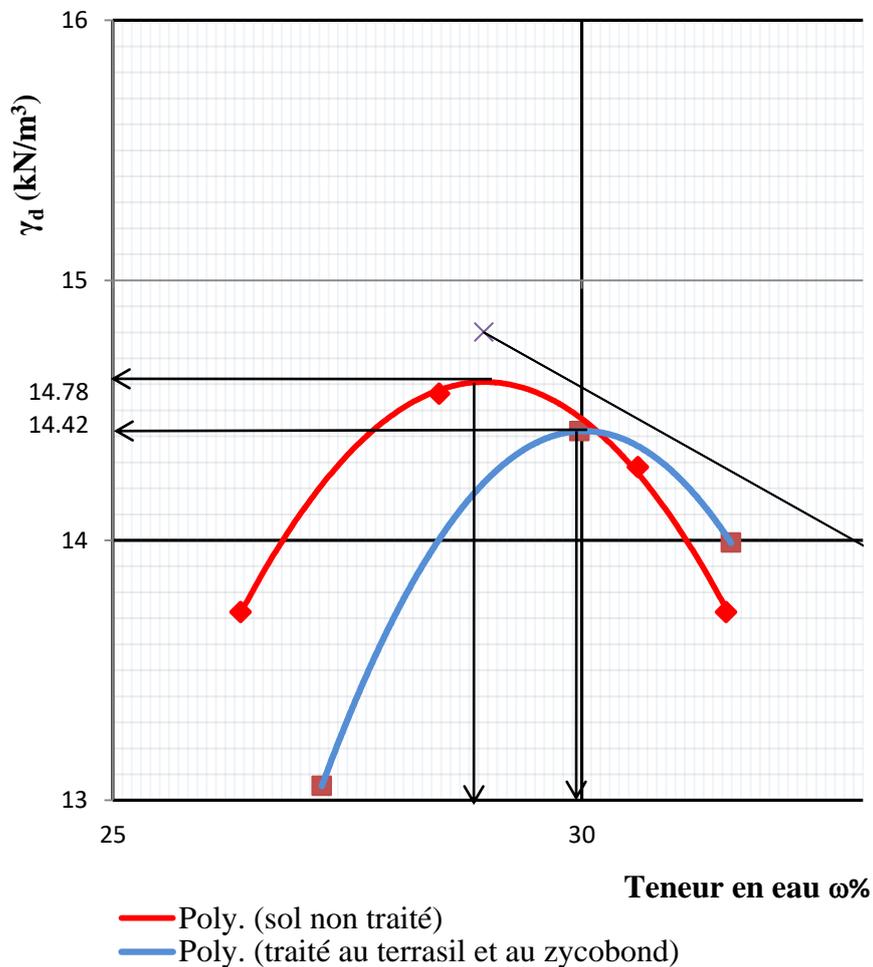


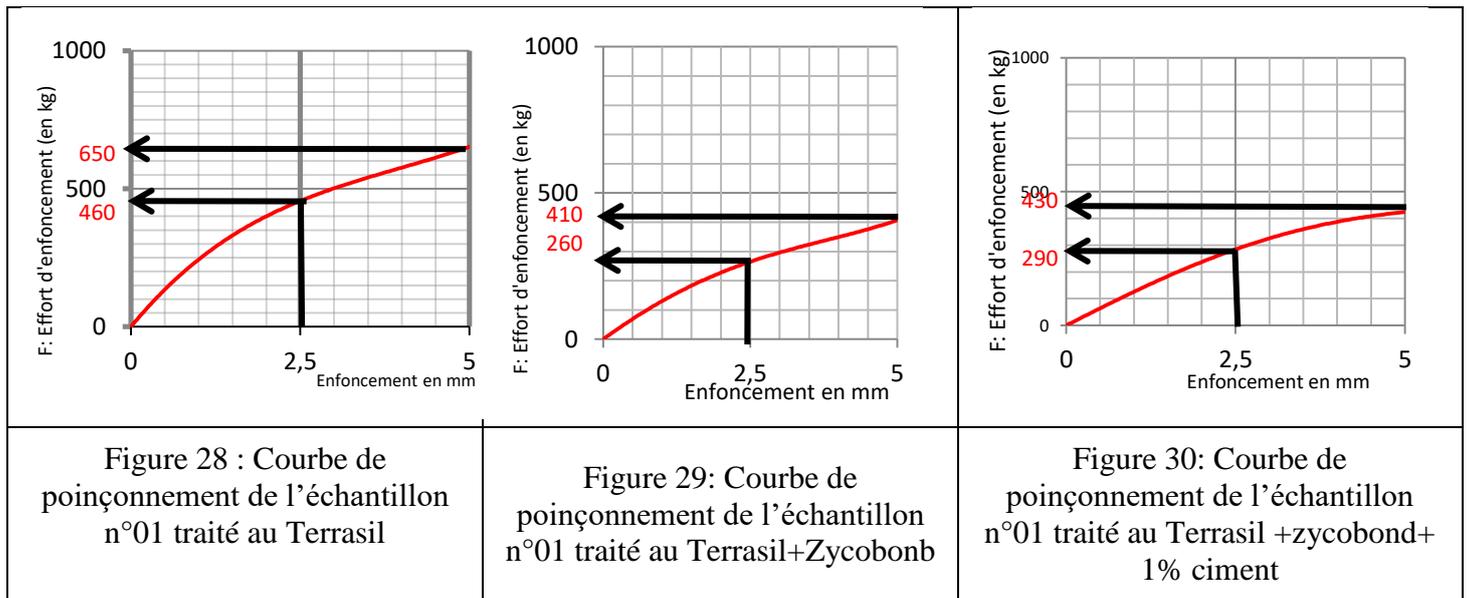
Figure 27 : Variation de $\gamma_{d \text{ max}}$ de l'échantillon n°01 avec ajout de Terrasil et de Zycobond.

Le tableau 26 et 27 présente les résultats de l'essai CBR du traitement de l'échantillon 01.

Tableau 26: Résultats de l'essai CBR de l'échantillon n°01 traité à 96h d'immersion

Traitement		TR et ciment	TR et ZB	TR, ZB et ciment
γ_{dmax}		14,78kN/m ³	14,42kN/m ³	14,42kN/m ³
ω_{opt}		28,9 %	29,9%	27,8
Teneurs en eau Avant & compactage	Numéro de la tare	11A	11A	11A
	Poids de la tare (1)	37.0	37,0	37,0
	Poids total humide (tare-échantillon) (2)	258.5	258,5	258,5
	Poids total (tare + échantillon sec)(3)	229.0	229,0	229,0
	Poids d'eau(4)	29.5	29,5	29,5
	Poids de l'échantillon sec (5)	192.0	192,0	192,0
	Teneur en eau(6)	15.4	15,4	15,4
	Teneur en eau moyenne $\omega\%$	15,4	15,4	15,4
Poids d'eau à ajouter	Energie	25 coups	25 coups	25 coups
	$\Delta\omega = \omega_{opt} - \omega_i$	13,3	14,5	12,4
	Poids humide de l'échantillon Ph	5500	5500,0	5500,0
	Poids sec Ps= Ph/(1+ ω_i)	4767,5	4767,5	4767,5
	Poids d'eau à ajouter Pe=Ps x ΔW	600,0 cm ³	600,0 cm ³	590,0 cm ³
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare	R	P	G
	Poids de la tare(1)	33,5	33,0	33,0
	Poids total humide (tare-échantillon) (2)	250,5	266,0	271,0
	Poids total (tare+échantillon sec)(3)	202.0	222,1	220,0
	Poids d'eau (2)-(3) (4)	48.5	43,9	51,0
	Poids de l'échantillon sec (3)-(1) (5)	168.5	189,1	187,0
	Teneur en eau (4)/(5)	28.8	23,2	27,3
	Teneur en eau moyenne $\omega\%$	28.8	23,2	27,3
Caractéristiques pondérales des moulages	N° du moule/ hauteur	26/123.7	38 /124,7	44 /124
	Poids du moule(7)	3534	3432	3351
	Poids total humide (moule-échantillon) (8)	7617	7507	7346
	Poids humide de l'échantillon(9)	4083	4075	3995
	Volume du moule(10)	2244	2266,5	2243,5
	Poids volumique humide (9)/(10) (11)	18.20	17,98	17,81
	Teneur en eau moyenne $\omega\%$	28.8	23,2	27,3
	Poids volumique sec [100*(11)]/[100+ ω]	14.77	14,59	13,99
Mesure de Gonflement	Gonflement Absolu Δh	0.03 mm	0,02 mm	0,02 mm
	Gonflement relatif ($\Delta h/h$) x 100	0.03%	0,02 %	0,02 %

Tableau 27 : Comparaison des courbes de poinçonnement de l'échantillon n°01 traité



La figure 30 désigne la comparaison des courbes de poinçonnement de l'échantillon n°01.

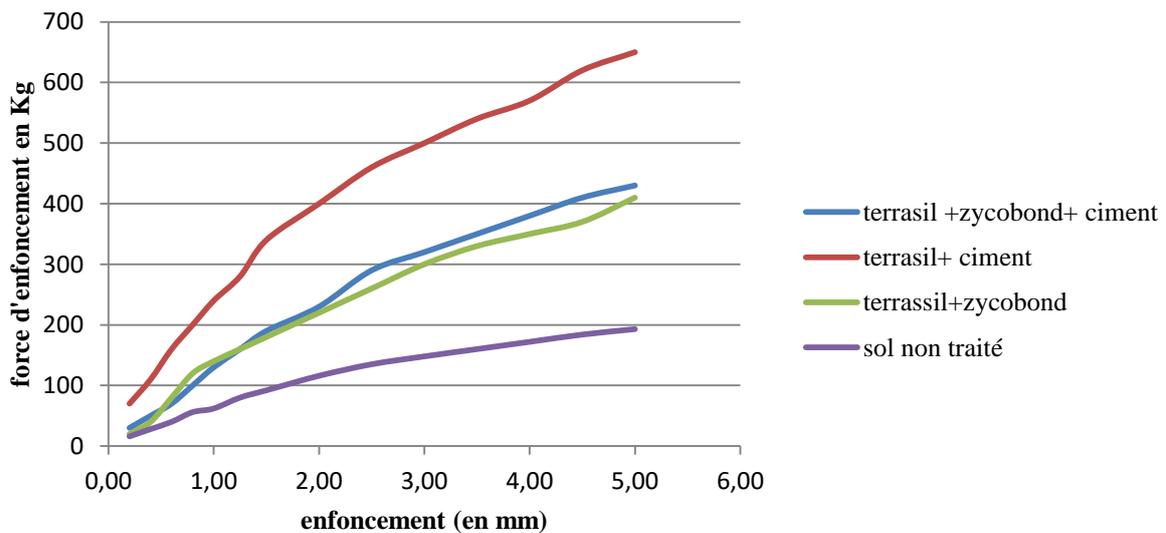


Figure 31 : Variation de la courbe de poinçonnement de l'échantillon n°01 avec traitement

En comparant les courbes de poinçonnement de l'échantillon n°01 non traité avec ajout du Terrasil, on constate une augmentation au niveau des forces d'enfoncement jusqu'à 200%, et en ajout le Zycobond l'augmentation est limitée à 100%.

Comparaison de l'indice de portance CBR

Tableau 28 : Comparaison des indices portants CBR de l'échantillon n°01 non traité et les échantillons traités

	Échantillon n°01 non traité	Échantillon n°01 traité avec terrasil et ciment	Échantillon n°01 traité avec terrasil et zycobond	Échantillon n°01 traité avec terrasil, zycobond et ciment
Force en Kilogrammes	25 coups			
à 2,5 mm (F(2,5)×100)/13,51	10	34	19	21
à 5mm (F(5) ×100)/20,265	10	32	20	21

L'ajout du Terrasil augmente la portance du sol à 34 et en ajoutant 25% de Zycobond elle diminue à 20 et 21. Cette diminution de la valeur du CBR peut-être due à l'influence de l'eau dans la composition du zycobond sur la plasticité de l'échantillon n°01.

IV.2 : EXPERIMENTATION SUR L'ECHANTILLON N°02

Comme l'échantillon n°02 est très plastique, une correction granulaire par ajout de sable s'avère nécessaire permettant de réduire les pourcentages des fines.

Le but de l'expérimentation est de diminuer le pourcentage des fines de l'échantillon n°02 avec correction granulaire de 1/4 et 1/3 de sable, et d'augmenter la portance avec dosage du Zycobond qui est égal à 25-30 et 35cm³ et du ciment à 1%.

Le traitement de l'échantillon n°02 se déroule comme suit :

- ✓ Correction granulaire avec du sable

L'ajout du sable à l'échantillon n°02 a pour but de réduire la plasticité.

Les résultats de l'analyse granulométrique avec ajout de sable à 1/4 et 1/3 au poids du sol à traiter sont présentés dans le tableau 27.

Tableau 29: Comparaison de la courbe granulométrique de l'échantillon n°02 avec correction granulaire

<p>Figure 32: courbe granulométrique avec correction granulaire de sable à 1/4</p>	<p>Figure 33: courbe granulométrique de la correction granulaire à 1/3</p>

L'ajout de 1/4 de sable au sol réduit le pourcentage des éléments fins à 67%, et avec l'ajout de sable 1/3, le pourcentage des éléments fins est réduit à 45 %.

Tableau 30: Présentation des résultats de détermination des limites d'Atterberg pour les corrections granulaires de l'échantillon n°02.

<p>Figure 34 : Détermination de ω_L avec 1/4 de sable</p>	<p>Figure 35 : Détermination de ω_L avec 1/3 de sable</p>
<p>$\omega_L=54,7\%$</p>	<p>$\omega_L=53,9\%$</p>
<p>$\omega_p= 40,3\%$</p>	<p>$\omega_p=42,8\%$</p>
<p>$I_p= 14,4\%$</p>	<p>$I_p=11,1\%$</p>

On observe qu'avec l'ajout de 1/4 de sable à la prise, l'indice de plasticité diminue jusqu'à 14,4% et rabaisse jusqu'à 11,1% avec addition de sable 1/3.

Conclusion

L'échantillon n°02 est très plastique avec un grand pourcentage de fines, une correction granulaire par ajout de sable à 1/4 et à 1/3 a réduit le pourcentage de 68 à 45 %. Ces corrections granulaires ont réduits la plasticité de 14,4 à 11,1%.

✓ Traitement avec le Terrasil et le Zycobond

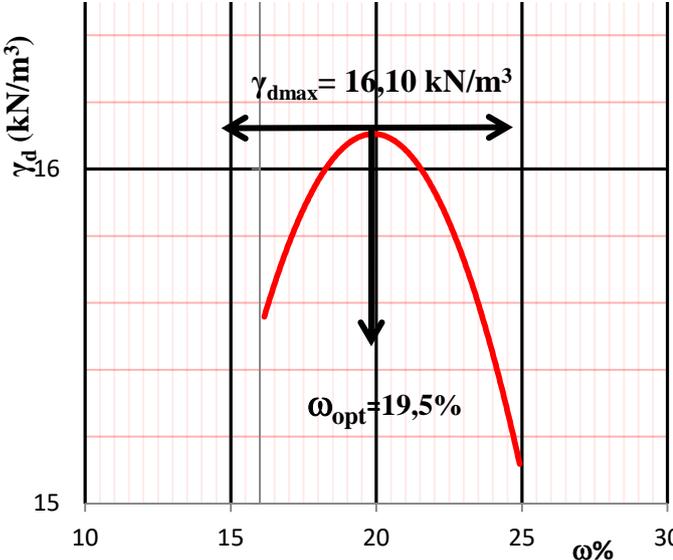
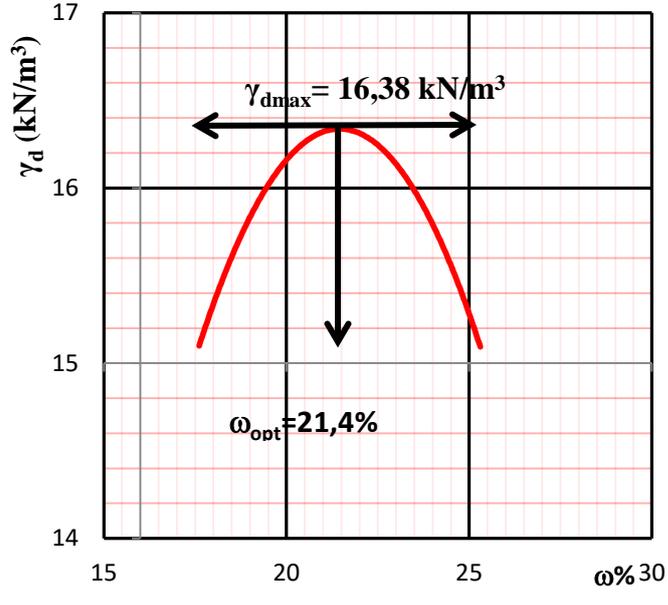
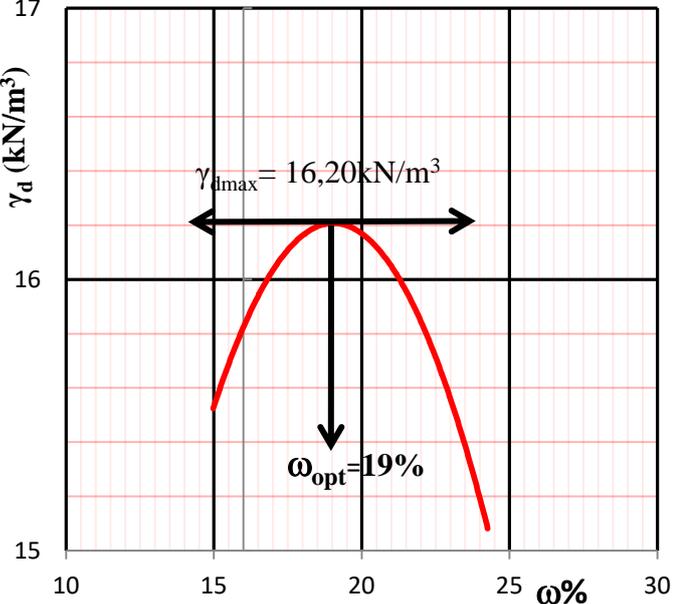
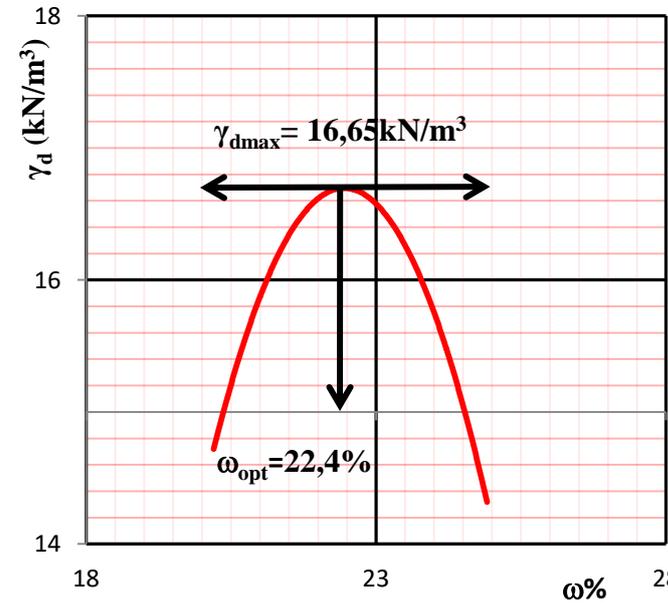
Les expérimentations sur l'échantillon n°02 sont résumées dans le tableau 35.

Tableau 31: Résumé de l'expérimentation sur l'échantillon n°02

$\omega_{opt}(1)$	28.2%					
Teneur en eau initial (2)	13,6%					
$\Delta\omega (1)-(2)=(3)$	14,6					
Correction granulaire avec	1/4 sable			1/3 sable		
Traitement	Terrasil+zycobond 25	Terrasil-Zycobond 30	Terrasil zycobond+ 35	Terrasil+zycobond 25	Terrasil-Zycobond 30	Terrasil zycobond+ 35
Poids de l'échantillon (4)	5500	5500	5500	5500	5500	5500
Poids sec (4)/(100+ (2))=(5)	4783	4783g	4783	4783	4783g	4783
Eau ajoutée $\{(5)*(3)\}/100 (6)$	670	670	670	670	670	670
Terrasil ¼ (6) = (7)	170cm ³	170	170	170cm ³	170	170
Zycobond	25 cm ³	30	35	25 cm ³	30	35
Ciment	55g	-	55g	55g		55g
sable	1361g	1361	1361	1815	1815	1815
sol	4084g	4084	4084	3630	3630	3630

Les résultats des secondes études sont exposés dans le tableau 36

Tableau 32 : Comparaison des courbes Proctor de l'échantillon n°02 traité au Terrasil et au Zycobond

Correction granulaire à 1/4	Correction granulaire à 1/3
	
<p>Figure 36: Courbe Proctor de l'échantillon n°02+ sable 1/4 traité au TR + 25 cm³ZB</p>	<p>Figure 37: Courbe Proctor de l'échantillon n°02+ sable 1/3 traité au TR + 25 cm³ZB</p>
	
<p>Figure 38: Courbe Proctor de l'échantillon n°02+ sable 1/4 traité au Terrasil + 30 cm³Zycobond+ ciment 1%</p>	<p>Figure 39: Courbe Proctor de l'échantillon n°02+ sable 1/3 traité au Terrasil + 30 cm³Zycobond+ ciment 1%</p>

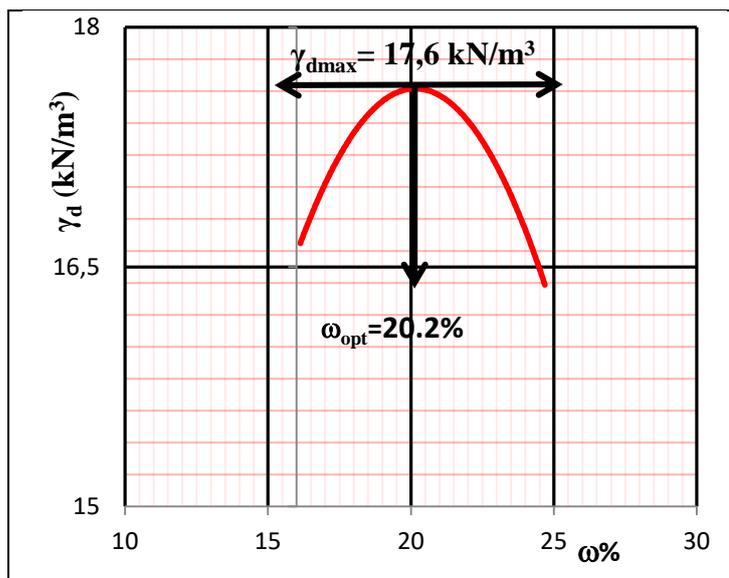


Figure 40: Courbe Proctor de l'échantillon n°02 + sable 1/4 traité au Terrasil + 35 cm³Zycobond+ ciment 1%

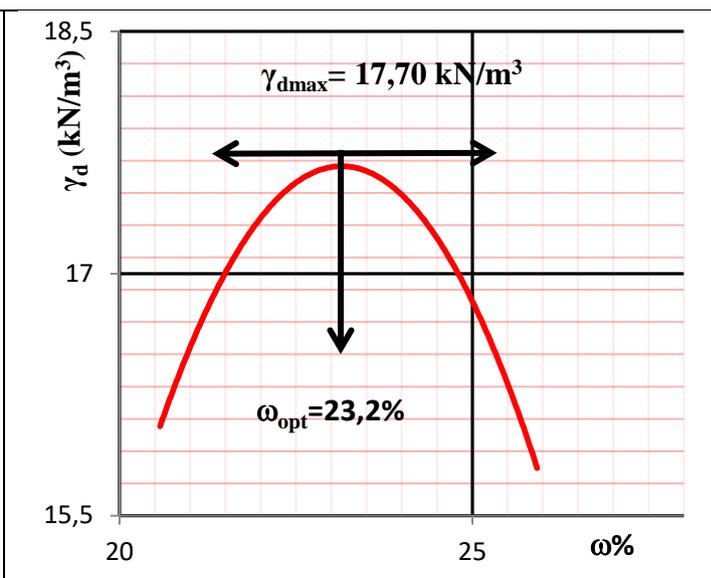


Figure 41: Courbe Proctor de l'échantillon n°02 + sable 1/3 traité au Terrasil + 35 cm³Zycobond+ ciment 1%

On observe une variation de la courbe Proctor allant de pointu jusqu'à aplatissement de sa forme, le poids volumique maximal augmente avec l'accroissement de la quantité du Zycobond, le meilleur résultat pour la correction granulaire à 1/4 et à 1/3 est obtenu avec l'ajout de 35 cm³ de Zycobond.

Tableau 33: Calcul de l'Indice CBR de l'échantillon n°02 traité

Correction granulaire	1/4 de sable			1/3 de sable		
	Terrasil+ zycobond 25	Terrasil Zycobond 30	Terrasil Zycobond 35	Terrasil zycobond 25	Terrasil Zycobond 30	Terrasil zycobond 35
Force F en Kg	25 coups					
F(2,5)	374	390	460	430	460	560
F(5)	472	580	620	640	580	720
CBR= max $\left[\frac{F(2,5)}{13,51} ; \frac{F(5)}{20,265} \right]$	28	29	34	32	34	38

Conclusion partielle

Cette partie décrit le traitement des échantillons par le Terrasil et le Zycobond par lequel on tire que l'ajout du Terrasil à l'échantillon n°01 augmente la valeur du CBR de 300% ; mais en rajoutant le Zycobond, l'amélioration de l'indice CBR limitée à 200% peut être due à la quantité du Zycobond attribué aux caractéristiques de plasticité du sol.

Le traitement de l'échantillon n°02 a été souligné par l'ajout de sable à 1/4 et 1/3 de la prise qui a réduit l'Ip de l'échantillon à 14,4 et 11%, le dosage du Zycobond dans la solution est de 25-30-35 cm³ et le meilleur résultat est obtenu avec l'ajout de 35 cm³ de Zycobond et de 170 cm³ de Terrasil ayant entraîné à l'augmentation de l'indice de portance CBR de 200 à 250%.

CHAPITRE V: INTERPRETATION GENERAL DES RESULTATS DE LA RECHERCHE

V.1 INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats de l'essai sur le traitement de l'échantillon n°01 sont résumés dans le tableau 34.

Tableau 34 : Récapitulation des expérimentations sur l'échantillon n°01

Échantillon n°01				
	Sol non traité	Sol traité		
	1720/07 AP	TR+ 3% C	TR + ZB	TR + ZB+ 1% C
ω_f (%)	29,0	23,2	23,2	27,3
$\gamma_{d \max}$ (kN/m ³)	14,62	14,78	14,42	14,42
ω_{opt} (%)	28,9	28,5	29,9	27,6
IC (%)	95	96	95	96
G (%)	1,79	0,02	0,02	0,02
ICBR	10	34	20	21

Le traitement par le Terrasil et le Zycobond augmente la portance de l'échantillon n°01 de 200 à 340% et on constate que le gonflement relatif est diminué à 0,02% pour les sols traités.

Nous constatons l'efficacité du Terrasil et du Zycobond sur l'échantillon n°01

Une étude de l'effet du Terrasil et du Zycobond sur les sols argileux a été faite par MANE S, SRINIVASA K, WILLIAM P (2018), ils ont ajoutés une quantité de Zycobond et de Terrasil de 0,6 – 0,75 et 1 kg par laquelle ils constatent que la valeur du CBR est augmentée jusqu'à 57,21% à 0,6 kg de dosage, mais celle-ci a diminué graduellement à mesure que le dosage chimique augmente et ils soulignent que plus le traitement augmente plus la capacité de la réaction du produit chimique augmente sur le sol (plasticité du sol) et elle diminue la valeur du CBR.

Dans notre étude, le Terrasil et du Zycobond est dosé à 0,6 kg/m³, et on constate que plus la quantité du Zycobond est élevée, plus la valeur du CBR est diminuée.

Tableau 35 : Récapitulation des expérimentations sur l'échantillon n°02

Échantillon n°02						
Sol non traité	Sol + Sable 1/4			Sol + sable 1/3		
1729/04 AT	TR+ 25 cm ³ ZB	TR+ 30cm ³ ZB	TR + 35 cm ³ ZB	TR+ 25 cm ³ ZB	TR+ 30cm ³ ZB	TR + 35 cm ³ ZB
30,6	23,2	23,3	23,6	23,2	23,3	23,8
15,70	16,38	16,65	17,24	16,10	16,20	17,6
22,8	21,4	22,4	23,2	19,2	19,5	20,2
95	95	95,1	96	95,6	95,1	95
2,16	0,11	0,06	0,02	0,11	0,04	0,02
15	28	29	34	31	34	38

La figure 41 présente la variation de l'indice CBR et du % du gonflement avec la quantité du Zycobond.

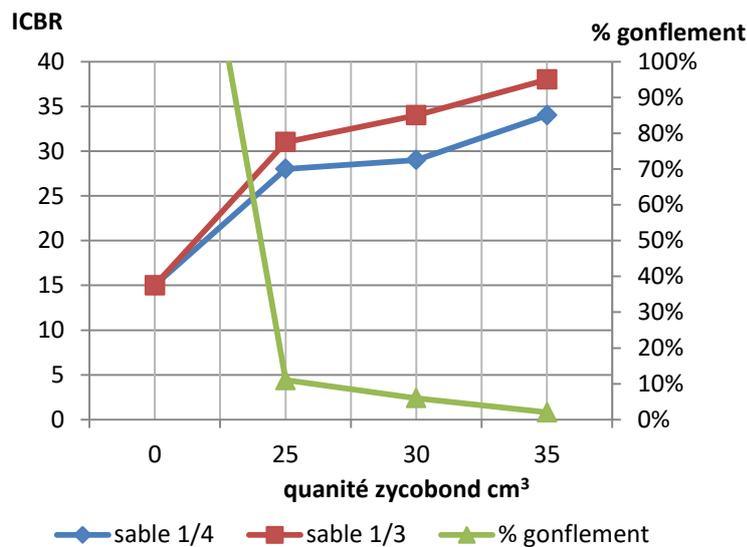


Figure 42: Variation de l'indice CBR et du % gonflement à 4 jours d'imbibition par rapport à la quantité de Zycobond.

Avec dosage du Zycobond 25 à 35 cm³, la valeur de l'indice CBR ne cesse d'augmenter allant de 186 à 227 % pour une correction granulaire de l'échantillon à 1/4 de la prise, et de 207 à 253% avec ajout de 1/3 de sable à la prise de l'échantillon.

Le pourcentage de gonflement de l'échantillon est réduit jusqu'à 0,02%.

L'augmentation de la portance de l'échantillon n°02 et la diminution du % de gonflement après une immersion à 4 jours dans l'eau témoigne les effets du Terrasil et du Zycobond sur les échantillons.

La figure 42 montre la diminution de la teneur en eau par rapport à l'ajout du Zycobond

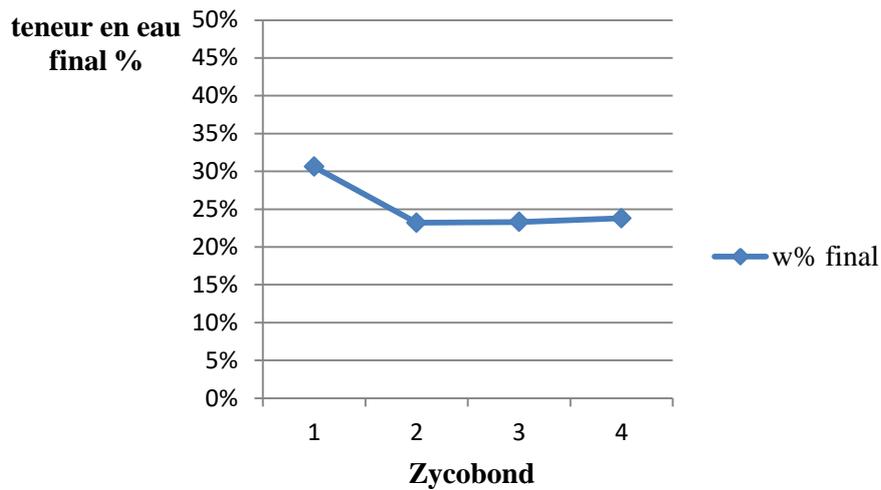


Figure 43 : Variation de la teneur en eau final par rapport aux quantités de Zycobond.

Suivant la teneur en eau du sol compacté par rapport à ω_{opt} , on obtient pour les sols fins les perméabilités suivantes

La teneur en eau du sol compacté est supérieure à celle de leur ω_{opt} (tableaux 38 et 39);

Selon les figures 41 et 42, ils ont une faible perméabilité et les particules du sol traité par le Terrasil et le Zycobond sont orientées.

Aux faibles teneurs en eau, les particules d'argile ont une structure floculée, alors qu'aux fortes teneurs en eau les particules sont plus orientées. (M. CALLAUD 2004)

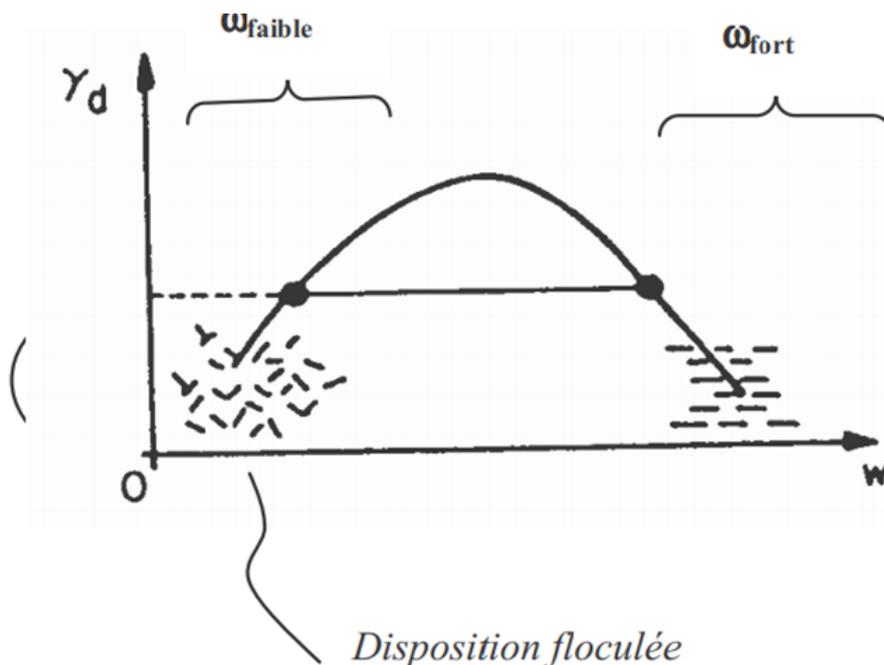


Figure 44: Courbe de référence pour la teneur en eau final et ω_{opt}

V.2 COMPARAISON DES RESULTATS DES TRAITEMENTS DES SOLS ARGILEUX DE LA RN43 ET DES SABLES ARGILEUX DE LA RN9 (TOLIARA-ANALAMISAMPY)

Les expérimentations des sables argileux de Toliara-Analamisampy sont récapitulées le tableau 36.

Tableau 36 : Récapitulation des expérimentations au laboratoire sur les sables argileux de Toliara-Analamisampy.

Sol	%F	Classification			W f (%)	γ_h kN/m ³	IC (%)	ICBR
		HRB	LPC	GTR				
279/13	45	A ₆	SA	A1	10,3	21,45	94,4	26
TR					11,0	21,79	95,3	35
TR + 1% C					11,5	21,78	94,9	60
TR 1% C+ 0,5% ZB					12,1	21,93	95	56
279/14	29	A ₂₋₄	SA	B6	8	20,29	94,1	32
TR					8,1	21,92	94,1	45
TR + 1% C					7,9	20,18	93,6	78
TR 1% C+ 0,5% ZB					8,4	20,29	94,1	87

(RAKOTONDRAFARA, 2015)

D'autre part, le Terrasil et le Zycobond augmentent la portance de 130 à 230% pour le sol sableux ayant un pourcentage de fine égal à 45% ; et de 140 à 270% pour les sols composés de 29% de fines.

Ainsi, le Terrasil et le Zycobond sont compatibles aux sols argileux et aux sols sableux, mais pour les sols ayant un pourcentage de fine très marqué ; ils nécessitent une correction granulaire pour réduire ces pourcentages.

Pour une plate-forme, la portance de la plateforme est préférable qu'elle soit supérieure à 30 pour pouvoir optimiser l'épaisseur des couches de la chaussée, ainsi avec le traitement des échantillons par le Terrasil et le Zycobond ; les échantillons de faible et moyenne portance ont été améliorés jusqu'à des portances très élevées (tableau 25).

Le ciment assure l'amélioration de la résistance à la fatigue du sol stabilisé avec le Terrasil et le Zycobond.

V.3 : DOSAGE DE LA QUANTITE DU TERRASIL ET DU ZYCOBOND POUR LES SOLS ARGILEUX DE LA RNS43

Tableau 37: Quantité de Terrasil et de Zycobond pour 1m³ de sol

Echantillons	CBR sol non traité	Ciment	Terrasil/m ³ (kg)	Zycobond/m ³ (kg)	Eau/m ³
1	10	1à 3%	0,6	0,25	Fonction ω_{opt} et ω
2	15	1à 3%	0,6	0,16	

Les sols argileux extraits sur la RNS43 ont un indice de portance faible allant de 10 à 15, l'ajout du Terrasil est dosé à 0,6 kg/m³ et le Zycobond est de 0,16 à 0,25 kg/m³.

La quantité d'eau par m³ de sol est fonction de ω_{opt} , de l'humidité sur terrain et la densité du sol. (RAMANANARIVO, 2014)

L'eau nécessaire (E) est calculée par

$$E = \omega_{opt} - \omega \times \text{densité du sol}$$

Si le sol est très humide, il faut le scarifier puis le faire sécher pour atteindre cette teneur en eau.

V.4 : DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

Le dimensionnement d'une chaussée consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie.

La méthode de dimensionnement utilisée est la méthode rationnelle définie par le « Guide technique de conception et dimensionnement des structures de chaussées », développée par SETRA – LCPC en décembre 1994 en utilisant le logiciel ALIZE.

Le principe repose sur la comparaison des déformations calculées sous l'essieu de référence et les limites admissibles des matériaux constitutifs de la chaussée.

L'hypothèse de calcul est basée sur :

- le nombre de trafics,
- la portance de la plateforme,
- et la nature des matériaux utilisée pour chaque couche

Selon RALAIMIHOATRA (2018),

- Moyenne journalière Annuelle (MJA)= 189 PL/jour, véhicule de charge utile supérieur ou égal à 5 tonnes de classe T₂
- Taux de croissance du trafic estimé à 7%
- Durée de mise en service : 20 ans.

Dimensionnement avec ALIZE

Pour les structures de la chaussée, on a choisi une structure souple composé de 3 couches :

- la couche de roulement : bétons bitumineux (bb)
- la couche d'assise : grave non traité (gnt)
- la plateforme (pf)

Remarque :

- l'ajout d'une couche de forme est nécessaire si le CBR de la plateforme est inférieur ou égal à 15.
- La variante retenue doit vérifier le critère de résistance à la fatigue ($\epsilon_{t \text{ calcul}} \leq \epsilon_{t \text{ admissible}}$) pour la couche de roulement et le critère de limitation des déformations permanentes de la plateforme ($\epsilon_{z \text{ calcul}} \leq \epsilon_{z \text{ admissible}}$)

Le tableau 38 présente les résultats de calcul de déformation au niveau de chaque couche de la chaussée et les déformations admissibles

Tableau 38 : Présentation des résultats des calculs de ϵ_t et ϵ_z

STRUCTURE 1							
épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (μ déf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (μ déf)	SigmaZ (MPa)
0,050	2450,0	0,350	0,000	-50,9	0,216	-166,2	0,658
			0,050	-122,0	-0,151	273,0	0,566
0,190	600,0	0,350	0,050	-122,0	0,070	716,9	0,566
			0,240	-662,7	-0,470	717,8	0,140
0,150	600,0	0,350	0,240	147,8	0,223	-77,6	0,140
			0,390	-358,4	-0,249	385,9	0,082
0,250	200,0	0,350	0,390	176,9	0,105	14,5	0,082
			0,640	-427,3	-0,095	565,3	0,052
infini	50,0	0,350	0,640	171,1	0,040	421,8	0,052

STRUCTURE 1 traité							
épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (μ déf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (μ déf)	SigmaZ (MPa)
0,040	2450,0	0,350	0,000	-142,2	-0,111	-78,7	0,657
			0,040	-97,4	-0,029	256,1	0,612
0,180	600,0	0,350	0,040	-97,4	0,074	736,3	0,612
			0,220	-482,6	-0,315	570,6	0,149
infini	170,0	0,350	0,220	-73,3	0,059	608,7	0,149

STRUCTURE 2							
épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (μ déf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (μ déf)	SigmaZ (MPa)
0,060	2450,0	0,350	0,000	-179,2	-0,280	-21,9	0,657
			0,060	-422,0	-1,205	558,5	0,575
0,290	600,0	0,350	0,060	118,1	0,268	144,9	0,575
			0,350	-561,9	-0,414	550,8	0,080
infini	75,0	0,350	0,350	172,7	0,063	433,0	0,080

STRUCTURE 2 TRAITE							
épais. (m)	module (MPa)	coef. Poisson	Zcalcul (m)	EpsT (μ déf)	SigmaT (MPa)	EpsZ (μ déf)	SigmaZ (MPa)
0,040	2450,0	0,350	0,000	-151,8	-0,143	-70,2	0,657
			0,040	-101,9	-0,048	261,7	0,611
0,170	600,0	0,350	0,040	-101,9	0,069	741,2	0,611
			0,210	-479,4	-0,308	589,7	0,165
infini	190,0	0,350	0,210	-69,9	0,064	602,2	0,165

Tableau 39 : Présentation des structures de la chaussée pour chaque dimensionnement

Structure	granularité	1	1 traité	2	2 traité
Coche de roulement : BB	0/10	5cm	4cm	6 cm	4 cm
Couche de base : GNT	0/20	59 cm	18 cm	29 cm	17cm
Plateforme	-	non traité	traité	non traité	traité

Selon les résultats, on peut déduire que la structure sur les sols non traités est plus épaisse que celle de la structure sur les sols traités, ainsi le traitement des sols par le Terrasil et le Zycobond permet d'optimiser les épaisseurs des couches de la chaussée de 21 à 22 cm.

V.5 : ESTIMATION DU COUT DU TERRASIL ET DU ZYCOBOND POUR UN METRE LINEAIRE DE LA RNS 43 ET QUELQUES AVANTAGES

On estime dans les tableaux 40 et 41, le prix du Terrasil et du Zycobond

Tableau 40 : Prix du Terrasil et du Zycobond (ZYDEX, 2019)

produit	Prix du kg	Quantité pour 1 m ³	Prix /m ³
Terrasil	35 000 Ariary	0,6 kg	21 000
Zycobond	22 000 Ariary	0,16kg	3 520

Tableau 41 : Prix du Zycobond et du Terrasil

Longueur	largeur	hauteur	Prix du Terrasil	Prix du Zycobond
1	4	0,2	16 800 Ariary	2 816 Ariary
100 m	4	0,2	1 680 000 Ariary	281 600 Ariary

V.6 : AUTRES AVANTAGES DE L'UTILISATION DU TERRASIL ET DU ZYCOBOND DANS L'AMELIORATION DES SOLS

V.6.1 : AVANTAGES TECHNIQUES

➤ Le résultat net sera la fondation du sol stabilisée avec une densité haute, faible pression de gonflement et résistante à l'eau, assurant ainsi la durabilité de la chaussée.

V.6.2 : AVANTAGES ECONOMIQUES

C'est un traitement à froid, donc utilisant peu d'énergie.

L'utilisation des matériaux en place est un facteur d'économie important puisqu'il réduit au minimum les déblais issus du décaissement, la mise en décharge, l'apport de granulats et le coût de leur transport.

L'absence de transport de granulats ou des déblais en décharge contribue à la préservation du réseau routier situé au voisinage du chantier.

Il est très économique, notamment du fait de la durée plus courte des travaux.

V.6.3 : AVANTAGES ECOLOGIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

Le travail à froid réduit sensiblement la pollution et le rejet de vapeurs nocives dans l'atmosphère permet une importante économie d'énergie globale, par la réduction des matériaux à transporter, des matériaux à mettre en décharge donc une diminution des impacts indirects des gênes à l'utilisateur et aux riverains.

La réutilisation des matériaux en place limite l'exploitation des gisements de granulats (carrières).

CONCLUSION

La RNS43 passe à Ambohibary-Sambaina où l'on rencontre des sols argileux provenant de l'altération du basalte et de l'argile lacustre influencée par un grand pourcentage de fins, ces sols ont une faible propriété géotechnique.

La condition climatique dans la région est moins pluvieuse avec une température moyenne annuelle inférieure à 20°C. Elle est favorable à la condition de mise en œuvre au traitement par le Terrasil et le Zycobond.

Cette étude expérimentale permet de traiter les sols argileux peu plastiques à très plastique par les produits nanotechnologiques: le Terrasil et le Zycobond, les résultats sont très remarquables vu l'augmentation de la portance de l'échantillon 01 de 200 à 340% et de l'échantillon 02 de 186 à 227 % avec ajout de sable de 1/4 et 207 à 253% avec ajout de sable 1/3 et une diminution du gonflement relatif à 0,02%.

Les résultats des traitements par le Terrasil et le Zycobond sur les sols argileux de Toliara-Analamisampy qui sont fortement améliorés.

Le Terrasil et le Zycobond sont compatibles avec tout type de sol. Pour les argiles de la plaine d'Ambohibary - Sambaina et pour les sables argileux de Toliara, l'augmentation de la portance spectaculaire avec diminution des gonflements relatifs.

Ces traitements peuvent offrir des atouts sur la réhabilitation de la route sur l'optimisation de l'épaisseur des couches de la chaussée, ils offrent aussi des avantages techniques, financiers et environnementaux.

Nous espérons qu'à l'issue de cette recherche, les problèmes de la RN43 soient résolus et que l'utilisation des produits nanotechnologiques de Zydex soit développée dans toutes les routes et les pistes en terre de notre île.

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRIAMALALA ANJARAMANANTENASOA Nirina (2010) : Contribution à la stabilisation des sols argileux gonflants de Madagascar matériaux pour les infrastructures routières RN6, Thèse de Doctorat, ESPA.
- BATTISTINI (1964) : Problèmes morphologiques du Vakinankaratra. Madagascar. Rev. de Géogr. N° 5.
- BESAIRIE H. (1971) : Mise au point sur le volcanisme de l'Ankaratra (Madagascar) -Archives, Serv. Géol. 2169, 19 pages.
- BOURGEAT F - PETIT M (1967) : Carte géomorphologique à 1/500.000 des Hautes Terres Centrales de Madagascar. ORSTOM - Tananarive 1967.
- KHALED M (2018) : Cours de mécanique des sols : Propriété des sols, 137 p.
- LENOBLE A (1938) : Carte géologique de reconnaissance échelle 1/200.000 de la feuille NO 48-49 ; Notice explicative sur la feuille d'Antsirabe.
- LENOBLE A.(1949) : Les dépôts lacustres plio-pleistocènes de l'Ankaratra (Madagascar). Ann. Géol. du service des Mines, fasc18.
- LIAUTAUT G, (1980) : Guide pratique de Dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, p 57 -103.
- Mane S R Rohith, Dr.R.Srinivasa Kumar, William Paul, Nagillakumaraswamy. (2018). A study on the effect of stabilizers (zycobond&terrasil) on strength of subgrade on bc soil. IndianJ.Sci.Res. 17(2): pp 86-92.
- M.CALLAUD (2004) : Propriétés des sols, 133pages.
- NOIZET (G.) - RANTOANINA (M.) (1963) : Contribution à l'étude géologique de la feuille d'Antsirabe NO 48. Rapport annuel du Service Géologique Madagascar, p193.
- OLUMUYIWA S. ADERINOLA, EMEKA S. NNOCHIRI. (2017). Stabilizing Lateritic Soil Using Terrasil Solution. SSP - journal of civil engineering Vol. 12, Issue 1. pp 19 – 28.
- RAMANANARIVO Michaël Rodriguez (2014) : Etude de valorisation du Karaoky par des agents hydrophobe en vue d'augmenter la durée de vie des routes en terre dans la zone pluvieuse, 99 pages, Mémoire de fin d'étude (DEA), ESPA.
- RAKOTONDRAFARA Parany (2015) : Optimisation et traitement des sols routiers par les produits zydex : applications a Andranomadio Toamasina et entre

Analamisampy–Toliara RN9, Mémoire de fin d'étude (MASTER 2), Université d'Antananarivo, parcours Géotechnique. 72p

- RALAIMIHOATRA Gino (2018) : Caractérisation des granulats pour couche de base pour la construction de la RN43 reliant Faratsiho et Faravohitra, Mémoire Master 2, ESPA.89p
- Olumuyiwa S;Aderinola, Emeka S. Nnochiri. (2017). Stabilizing Lateritic Soil Using Terrasil Solution. SSP - journal of civil engineering Vol. 12, Issue 1. pp 19 – 28.
- SANGLERAT G, OLIVARI G. CAMBOU B. (1983) : Problèmes pratiques de mécanique des sols et de fondation, Dunod 318 p.
- SEGALEN P (1957) : Les sols dérivés des roches volcaniques basiques à Madagascar. Mémoire I.R.S.M, 181 pages.
- SETRA (2012). Les renforcements de chaussées - Diagnostic et conception - Guide technique. pp 220
- ZEBROWSKI (1975) : Propriétés et pédogenèse de certains sols sur roches volcaniques de la région d'Antsirabe (Madagascar).p 49-59.

WEBOGRAPHIE

- Association Française de Normalisation (2003), 07p, Paris
- Association Française de Normalisation (2003), 15p, Paris
- Association Française de Normalisation (2003), 15p, Paris
- Association Française de Normalisation (2003), 12 p, Paris
- Association Française de Normalisation (2003), 18p, paris
- Zydex Industries, www.zydexindustries.com

ANNEXE

FICHE D'ESSAIS :
ECHANTILLON 1

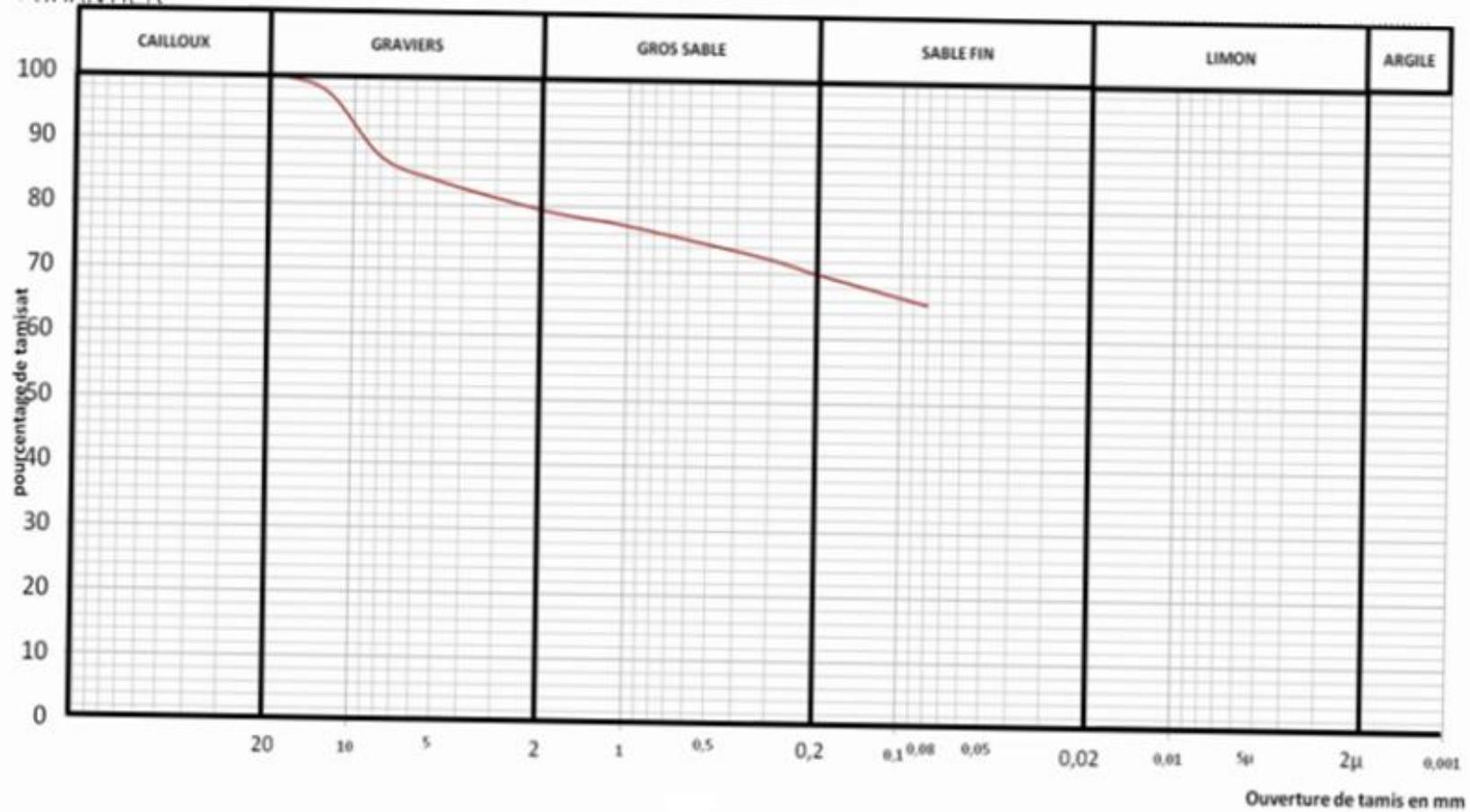


ANALYSE GRANULOMETRIQUE DE SOLS

Représentation graphique	N° Echant	Profondeur de prélèvement, en (m)	Nature	Limite Atterberg			E.S.	Classification		
				wL	wP	Ip		HRB	LCP	GTR

Dossier n°
Réception n°
Graphique n°
Annexe :

CHANTIER :





LIMITES D'ATTERBERG S.04

$Wl - Wp = Ip$

DOSSIER
RECEPTION : **1**
GRAPHIQUE
ANNEXE :

CHANTIER :	Sondage :	Profondeur :
Date :	Opérateur :	

1) LIMITE DE LIQUIDE WL

Nombre de coups : N	18	22	28		
Tare N°	85	195	66		
Poids tare (1)	15.25	15.85	14.25		
Poids total humide (2)	27.35	26.65	25.80		
Poids total sec (3)	23.5	23.25	22.27		
Poids d'eau (4) = 2 - 3	3.85	3.40	3.53		
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	8.25	7.40	8.02		
Teneur en eau W% (4) / (5)	46.67	45.95	44.01		
Teneur en eau moyenne W%	46.67%	45.95	44.01		



2) LIMITE DE PLASTICITE Wp		3) RESULTATS	
Tare N°	76	157	LIMITE DE LIQUIDITE (WL) : 44.9%
Poids tare (1)	15.2	14.27	
Poids total humide (2)	19.35	19.65	LIMITE DE PLASTICITE (Wp) : 23.5%
Poids total sec (3)	18.56	18.63	
Poids d'eau (4) = 2 - 3	0.79	1.02	INDICE DE PLASTICITE (Ip) : 21.4% (Ip = WL - Wp)
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	3.36	4.36	
Teneur en eau W% (4) / (5)	23.51	23.39	
Teneur en eau moyenne W%	23.5		



POIDS VOLUMIQUE DES PARTICULES SOLIDES D'UN MATERIAU

Dossier n _____

Réception n _____

Date _____

Chantier : _____

Echantillon : _____

Opérateur : _____

A. MESURE DU POIDS VOLUMIQUE DE GRAINS INFÉRIEURS A 4mm

	Ech. n 1	Ech. n 2	Ech. n	Ech. n
Masse picno vide (1)	124.95g	124.95		
Masse picno rempli d'eau (2)	372.47	372.47		
Température ambiante (3)	-			
Volume picno $V = (2) - (1) / \rho \times (K) = 4$	247.52	247.52		
Masse picno + eau + éch. (5)	347.6	214.22		
Masse picno + éch. sec. (6)	200.57	208.95		
Température d'essai (7)	-			
Poids volumique γ_s (kN/m ³) = $\frac{(6) - (1)}{(4) + \frac{(5) - (6)}{\rho}} \times g$	25.9	25		

B. MESURE DU POIDS VOLUMIQUE DE GRAINS SUPÉRIEURS A 4mm

	Ech. n	Ech. n	Ech. n	Ech. n
Masse éch. sec. (1)				
Masse éch. + panier (2)				
Masse (éch. + panier) immergé (3)				
Température de l'eau				
Poids volumique γ_s (kN/m ³) = $\frac{(1)}{(2) - (3)} \times \frac{1}{k} \times g$				
Coefficient d'absorption ; $A \% = \frac{(2) - (1)}{(1)} \times 100$				

1) Les unités de mesure utilisées sont : le gramme, cm³, degré, g = 10

2) La balance est équilibrée avec le panier seul immergé.

Observations :



S-10

ESSAI PROCTOR

NORMAL :

MODIFIE :

UNITES DE MESURE UTILISEES

Gramme (g)
Centimetre cube (cm³)
KiloNewton par metre cube (kN / m³)

Dossier n° :

Reception n° :

Chantier		Sondage		Profondeur		Operateur		Date					
MOULE C.B.R.		Nature du materian				Teneur en eau naturelle (W) :							
		Poids total				Poids retus a 20 mm module AFNOR N° 44 :							
		%											
POINT N°		1		2		3		4		5		6	
TENEURS EN EAU	Tare (1)	c		x		A3							
	Poids de la tare (1)	32,5		33		36							
	Poids materian humide + tare (2)	322,5		328,5		362,5							
	Poids materian sec + tare (3)	262		263		286							
	Poids d'eau (4) = (2) - (3)	60,5		65,5		76,5							
	Poids materian sec (5) = (3) - (1)	229,5		230		250							
	Teneur en eau (W) = (4) / (5)	26,4%		28,5%		30,6%							
Teneur en eau moyen W (6)		26,4%		28,5%		30,6%							
POIDS VOLUMIQUES	Poids d'eau ajoutee	30		150		270							
	N° Moule	p2		-		-							
	Poids du moule (7)	3509		-		-							
	Poids materian humide + moule (8)	7408,5		7716,5		7703							
	Poids materian humide (9) = (8) - (7)	3899,5		4207,5		4194							
	Volume du moule (10)	2248,7		-		-							
	Poids volumique humide (11) = (9) / (10)	17,34		18,71		18,65							
	Poids volumique sec (12) = $\frac{100 \times (11)}{100 + (6)}$	13,72		14,56		14,28							



ESSAI PROCTER
S - 10

NORMAL MODIFIÉ

MOULE C B R

CHANTIER _____
SONDAGE _____
PROFONDEUR _____
NATURE _____

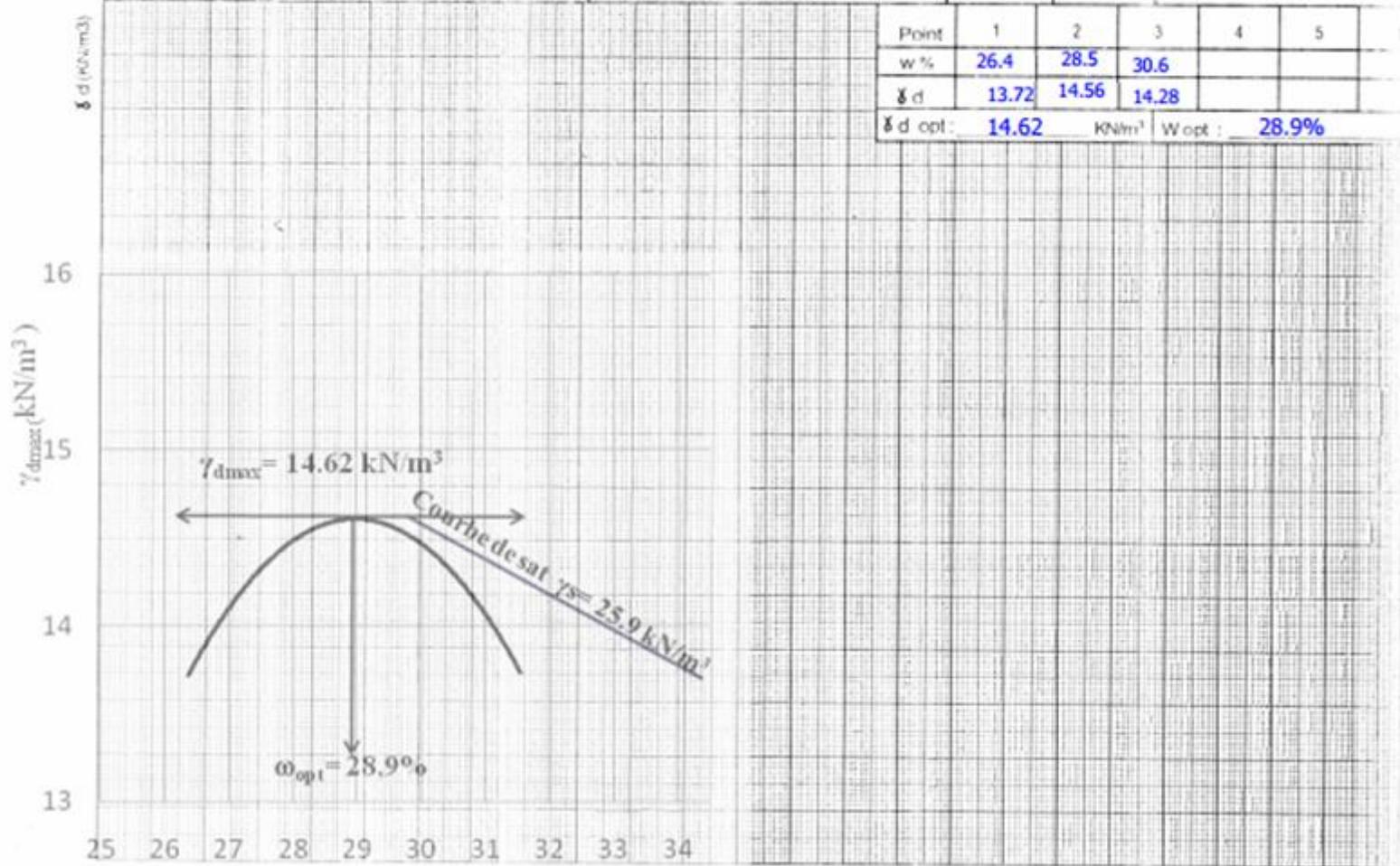
Refus
à 20 mm = %

γ_d opt
corrige
kN/m³

W opt
corrige
%

DOSSIER N° _____
RÉCEPTION N° _____
GRAPHIQUE N° _____
ANNEXE N° _____

Point	1	2	3	4	5
w %	26.4	28.5	30.6		
γ_d	13.72	14.56	14.28		
γ_d opt :	14.62		kN/m ³		W opt : 28.9%



Teneur en eau w %

Teneur en eau w %



C.B.R. (S - 11) (INDICE PORTANT C.B.R.)

Chantier : _____

Réaction : _____

Réf. Sondage : _____

Opérateur : _____

Date : _____

RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR MODIFIE

 $\gamma_d \text{ opt.} = 14.62 \text{ KN/m}^3$
 $W \text{ opt.} = 28.9\%$

Essais à 0 heure d'imbibition

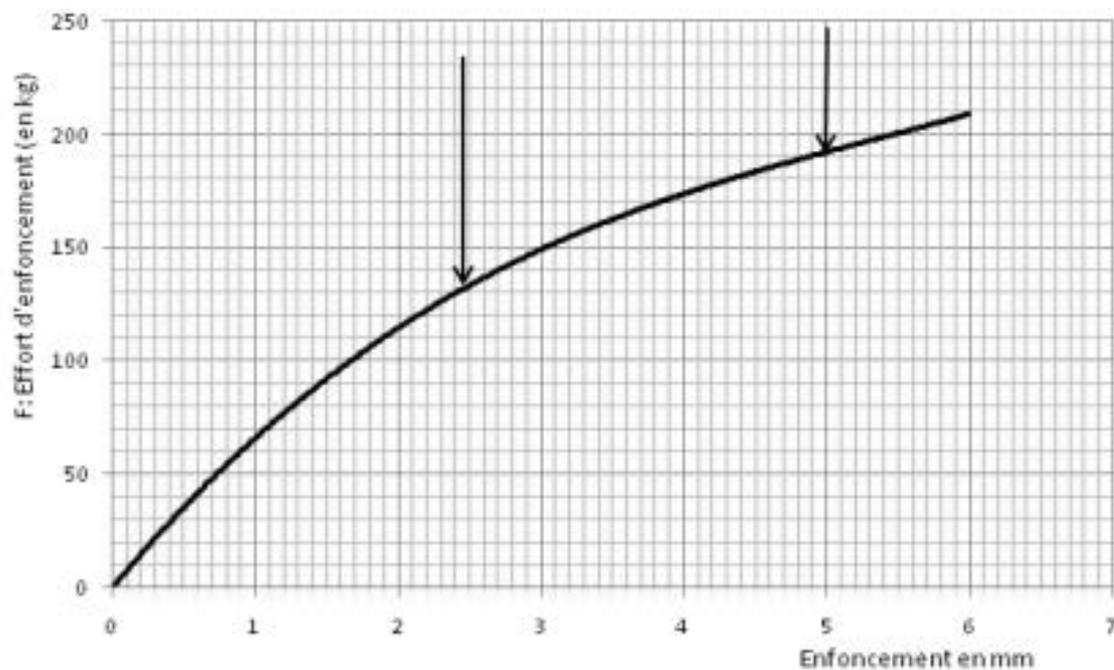
Numéro des échantillons					
Teneurs en eau Avant compactage	Numéro de la tare				J35
	Poids de la tare	(1)			31.5
	Poids total humide (tare - échantillon)	(2)			304
	Poids total (tare + échantillon sec)	(3)			265.5
	Poids d'eau (2) - (3)	(4)			38.5
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1)	(5)			234
	Teneur en eau (4) : (5)	(6)			16.45
	Teneur en eau moyenne w %				16.45
Poids d'eau à ajouter	Energie				25 coups
	$\Delta w = w \text{ opt.} - w_i$				12.3
	Poids humide de l'échant. P h				5500
	Poids sec $P_s = P_h / (1 + w_i)$				4722.9
Poids d'eau ajoutée $P_e = P_s \times \Delta w$				600cm ³	
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare				s16
	Poids de la tare	(1)			33
	Poids total humide (tare - échantillon)	(2)			293.4
	Poids total (tare + échantillon sec)	(3)			235
	Poids d'eau (2) - (3)	(4)			58.5
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1)	(5)			202
	Teneur en eau (4) : (5)				29
	Teneur en eau moyenne w %				29%
Caractéristiques pondérales des moulages	N° du moule				G
	Poids du moule	(7)			3412
	Poids total humide (moule + échantillon)	(8)			7422
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) =	(9)			4010
	Volume du moule	(10)			2238.1
	Poids volumique humide (9) : (10)	(11)			17.92
	Teneur en eau moyenne w %				29.0
	Poids volumique sec $\frac{100 \times \text{Poids humide}}{100 - w}$	(12)			13.89
Indice de compacité % I.C. = (12) $\gamma_d \text{ opt.}$				95%	

Essais après 96 heures d'imbibition

Teneurs en eau avant compactage	Numéro des échantillons						
	Numéro de la tare				J35		
	Poids de la tare (1)				31.5		
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)				304		
	Poids total (tare - échantillon sec) (3)				265.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				38.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) = (5)				234		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				16.5		
	Teneur en eau moyenne w % :				16.5		
Poids d'eau à ajouter	Energie		10 coups	25 coups	55 coups		
	$\Delta W = W_{opt} - W_1$				12.3		
	Poids humide de l'échant. Ph				5500		
	Poids d'eau ajoutée $P_e - P_s \times W$				4722.9		
	Poids sec $P - Ph : (1 + W)$				600cm ³		
Teneurs en eau de compactage	Numero de la tare				x3		
	Poids de la tare (1)				32		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				270		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				216		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				58.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				202		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				29		
	Teneur en eau moyenne W %				29%		
Teneurs en eau après imbibition	Numero de la tare				I		
	Poids de la tare (1)				33		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				250		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				198.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				51.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				165.5		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				31.1		
	Teneur en eau moyenne W %				31.1%		
Caractéristiques pondérales	N du moule / hauteur h				4/124.8		
	Poids du moule (7)				3371		
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)				7451		
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) (9)				4083		
	Volume $V = V_1 (1 + \frac{\Delta h}{h})$ (10)				2264.4		
	Poids volumiques humide (9) : (10) (11)				18.03		
	Teneur en eau moyenne W % ()				31.1		
	Poids volumique sec				13.75		
Mesure de gonflement							
Date	10 coups	25 coups	55 coups	Date	10 coups	25 coups	55 coups
Gonflement absolu Δh : <u>2.23</u> mm				Gonflement relatif : $(\Delta h/h) \times 100$: <u>1.79</u>			

C.B.R. Poinçonnements à 96 h						Ref. Sondage : _____							
Anneau : 5kN						Opérateur : _____							
Date : _____													
Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT					
	10 coups		25 coups		55 coups			10 coups		25 coups		55 coups	
	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	
0.20			8				3.50		80				
0.40			14				4.00		86				
0.60			20				4.50		92				
0.80			28				5.00		96.5	193			
1.00			31				5.50		100				
1.25			40				6.00		104				
1.50			46				6.50						
2.00			58				7.00						
2.50			67.5	135			7.50						
3.00			74										

COURBE DE POINÇONNEMENT



Calcul de l'indice portant

F en kilogrammes	10 coups	25 coups	55 coups
$a_{25} = \frac{F(25)}{2351} \times 100$		10	
$a_5 = \frac{F(5)}{20265} \times 100$		10	

ECHANTILLON 1 TRAITE AU TERRASIL

échantillon 1 + TR

 ESSAI PROCTOR S-10		NORMAL :		UNITES DE MESURE UTILISEES		Dossier n° :	
		MODIFIE :		Gramme (g) Centimetre cube (cm ³) Kiloneutron par metre cube (KN/m ³)		Reception n° :	
Chantier :		Sondage :		Profondeur :		Operateur :	
MOULE C.E.R.		Nature du materiel :		Teneur en eau naturelle (W) :		Poids total Poids refus a 20 mm module AFNOR N° 44 % refus	
POINT N°		1	2	3	4	5	6
TENEURS EN EAU	Tare (1)						
	Poids de la tare (1)	P	gk	f			
	Poids materiel humide + tare (2)	33	32	30			
	Poids materiel sec + tare (3)	265	255	285			
	Poids d'eau (4) = (2) - (3)	216,5	205	224,5			
	Poids materiel sec (5) = (3) - (1)	48,5	50	60,5			
	Teneur en eau (W) = (4) / (5)	183,5	173	194,5			
Teneur en eau moyen W (6)	26,4%	28,9%	31,1%				
POIDS VOLUMIQUES	Poids d'eau ajoutee	560	570	580			
	N° Moule	p2	-	-			
	Poids du moule (7)	3509	-	-			
	Poids materiel humide + moule (8)	7492	7753	7517			
	Poids materiel humide (9) = (8) - (7)	3983	4244	4008			
	Volume du moule (10)	2248,7	-	-			
	Poids volumique humide (11) = (9) / (10)	17,71	18,87	17,82			
	Poids volumique sec (12) $\frac{100 \times (11)}{100 - (6)}$	14,01	14,64	13,59			



ESSAI PROCTOR
S - 10

NORMAL MODIFIÉ

MOULE C B R

CHANTIER _____
SONDAGE _____
PROFONDEUR _____
NATURE _____

échantillon 1+ TR

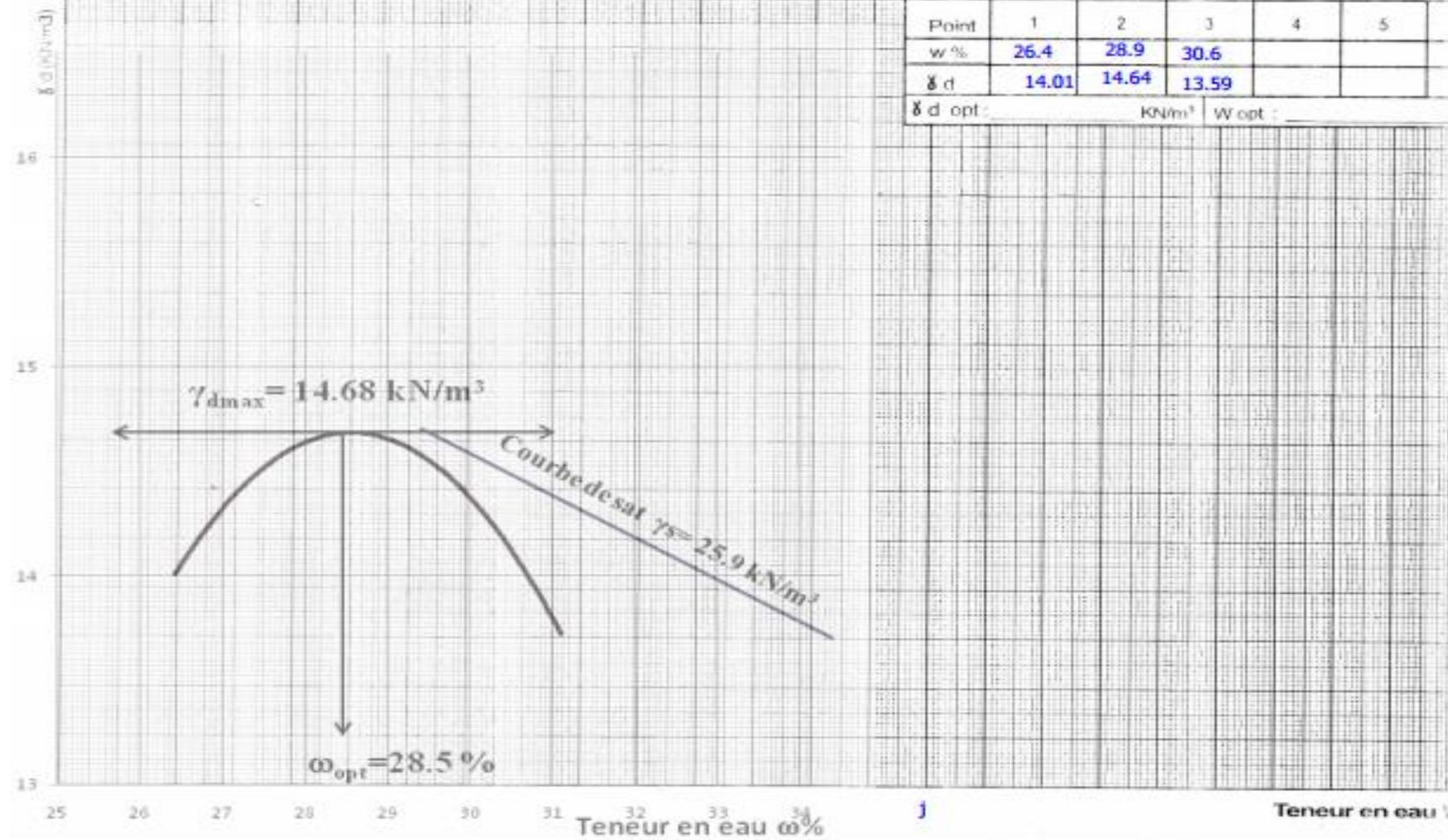
Refus
à 20 mm = %

DOSSIER N° _____
RÉCEPTION N° _____
GRAPHIQUE N° _____
ANNEXE N° _____

γ_d opt
corrigé
KN/m³

W opt
corrigé
%

Point	1	2	3	4	5
w %	26.4	28.9	30.6		
γ_d	14.01	14.64	13.59		
γ_d opt :	KN/m ³		W opt :		



Teneur en eau ω %



échantillon 1 + TR

C.B.R. (S - 11)
(INDICE PORTANT C.B.R.)

Chartier _____

Réception n° _____

Ref. Sondage _____

Opérateur _____

Date _____

RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR MODIFIE

γ_{d opt} = **14.78** KN/m³ W_{opt} = **28.5%**

Essais à 0 heure d'imbibition

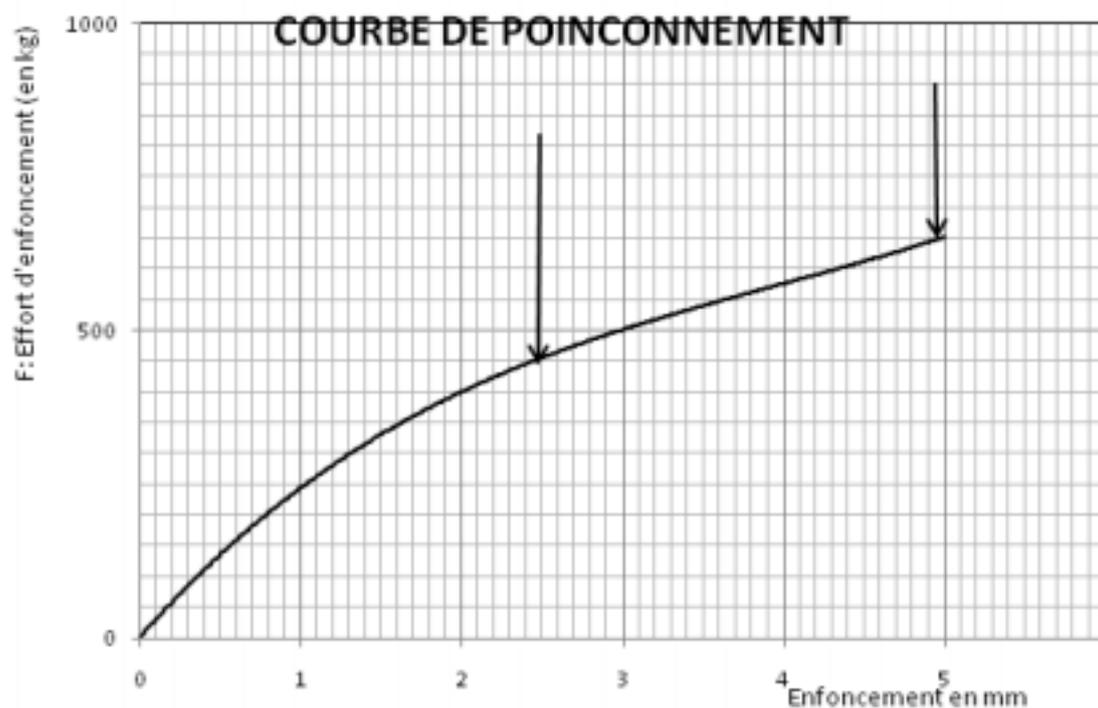
Numéro des échantillons				
Teneurs en eau Avant compactage	Numéro de la tare		11A	
	Poids de la tare (1)		37	
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)		258.5	
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)		229	
	Poids d'eau (2) - (3) (4)		29.5	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)		192	
	Teneur en eau (4) : (5) (6)		15.4	
	Teneur en eau moyenne w % i		15.4	
Poids d'eau à ajouter	Energie		25 coups	
	Δw = w _{opt} - w _i		13.3	
	Poids humide de l'échant. P _h		5500	
	Poids sec P _s = P _h / (1 + w _i)		4767.49	
	Poids d'eau ajoutée P _e = P _s x Δw		600cm³	
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare		R	
	Poids de la tare (1)		33.5	
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)		250.5	
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)		202	
	Poids d'eau (2) - (3) (4)		48.5	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)		168.5	
	Teneur en eau (4) : (5)		28.8	
	Teneur en eau moyenne w %		28.8	
Caractéristiques pondérales des moulages	N° du moule		17	
	Poids du moule (7)		3534	
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)		7630	
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) = (9)		4096	
	Volume du moule (10)		2238.1	
	Poids volumique humide (9) : (10) (11)		18.30	
	Teneur en eau moyenne w %		28.8	
	Poids volumique sec $\frac{100 \times P_s}{100 + w}$ (12)		14.21	
Indice de compacité % I.C. = (12) / γ _{d opt}			96%	

Essais après 96 heures d'imbibition

échantillon 1 + TR

Teneurs en eau avant compactage	Numéro des échantillons						
	Numéro de la tare				11A		
	Poids de la tare (1)				37		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				258.5		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				229		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				29.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) = (5)				192		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				15.4		
Teneur en eau moyenne w %				15.4			
Poids d'eau à ajouter	Energie		10 coups	25 coups	55 coups		
	$\Delta W = W_{opt} - W_1$				13.3		
	Poids humide de l'échant. Ph				5500		
	Poids d'eau ajoutée Pe - Ps x W				4767.5		
	Poids sec P - Ph / (1 + W)				600cm ³		
Teneurs en eau de compactage	Numero de la tare				R		
	Poids de la tare (1)				33.5		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				250.5		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				202		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				48.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				168.5		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				28.8		
	Teneur en eau moyenne W %				28.8%		
Teneurs en eau après imbibition	Numero de la tare				P		
	Poids de la tare (1)				33		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				266		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				221.1		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				43.9		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				189.1		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				23.2		
	Teneur en eau moyenne W %				23.2%		
Caractéristiques pondérales	N du moule / hauteur h				26/123.7		
	Poids du moule (7)				3534		
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)				7617		
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) (9)				4083		
	Volume $V = V_1(1 + \frac{\Delta h}{h})$ (10)				2264.4		
	Poids volumiques humide (9) : (10) (11)				18.20		
	Teneur en eau moyenne W %)				23.2		
	Poids volumique sec				14.77		
Mesure de gonflement							
Date	10 coups	25 coups	55 coups	Date	10 coups	25 coups	55 coups
Gonflement absolu Δh : 0.03 mm				Gonflement relatif : $(\Delta h/h) \times 100$: 0.02 %			

C.B.R. Poinçonnements à <u>96</u> h						Réf. Sondage : _____							
Anneau : <u>30kN</u>						Opérateur : _____							
Date : _____													
Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT					
	10 coups		25 coups		55 coups			10 coups		25 coups		55 coups	
	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)		Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)
0.20			3.5			3.50			27				
0.40			5.5			4.00			28.5				
0.60			8			4.50			31				
0.80			10			5.00			32.5	650			
1.00			12			5.50							
1.25			14			6.00							
1.50			17			6.50							
2.00			20			7.00							
2.50			23	460		7.50							
3.00			25										



Calcul de l'indice portant			
F en kilogrammes	10 coups	25 coups	55 coups
$F(25) \div 25 \times 100$ 1361		34	
$F(5) \div 5 \times 100$ 20266		32	

ECHANTILLON 1 TRAITE AU TERRASIL +
ZYCOBOND



S-10

Terrasil +zycobond

ESSAI PROCTOR

NORMAL :

MODIFIEE :

UNITES DE MESURE
UTILISEESGramme (g)
Centimètre cube (cm³)
KiloNewton par mètre cube (kN / m³)

Dossier n° :

Reception n° :

Chantier :		Sondage		Profondeur		Operateur :		Date					
MOULE C.B.R.		Nature du matériau :				Poids total :							
		Teneur en eau naturelle (W) :				Poids refus à 20 mm module AFNOR N° 44 :							
		% refus :											
POINT N°		1		2		3		4		5		6	
TENEURS EN EAU	Tare n°	s16		j15		I							
	Poids de la tare (1)	33		35		33							
	Poids matériau humide + tare (2)	290		280		310							
	Poids matériau sec + tare (3)	235		223.5		243.5							
	Poids d'eau (4) = (2) - (3)	55		56.50		66.5							
	Poids matériau sec (5) = (3) - (1)	202		188		210.5							
	Teneur en eau (W) = (4) / (5)	27.2%		30%		31.6%							
Teneur en eau moyen W (6)		27.2%		30%		31.6%							
POIDS VOLUMIQUES	Poids d'eau ajoutée	560		570		580							
	N° Moule	p2		.		.							
	Poids du moule (7)	3509		.		.							
	Poids matériau humide + moule (8)	7844		7717		77649							
	Poids matériau humide (9) = (8) - (7)	3735		4208		4140							
	Volume du moule (10)	2248,7		.		.							
	Poids volumique humide (11) = (9) / (10)	16.61		18.71		18.41							
Poids volumique sec (12) = $\frac{100 \times (11)}{100 - (6)}$	13.06		14.4		13.99								



ESSAI PROCTER
S - 10

NORMAL MODIFIÉ

MOULE C B R

CHANTIER _____

SONDAGE _____

PROFONDEUR _____

NATURE _____

Refus
à 20 mm = %

δd opt
corrigé
KN/m³

W opt
corrigé
%

DOSSIER N° _____

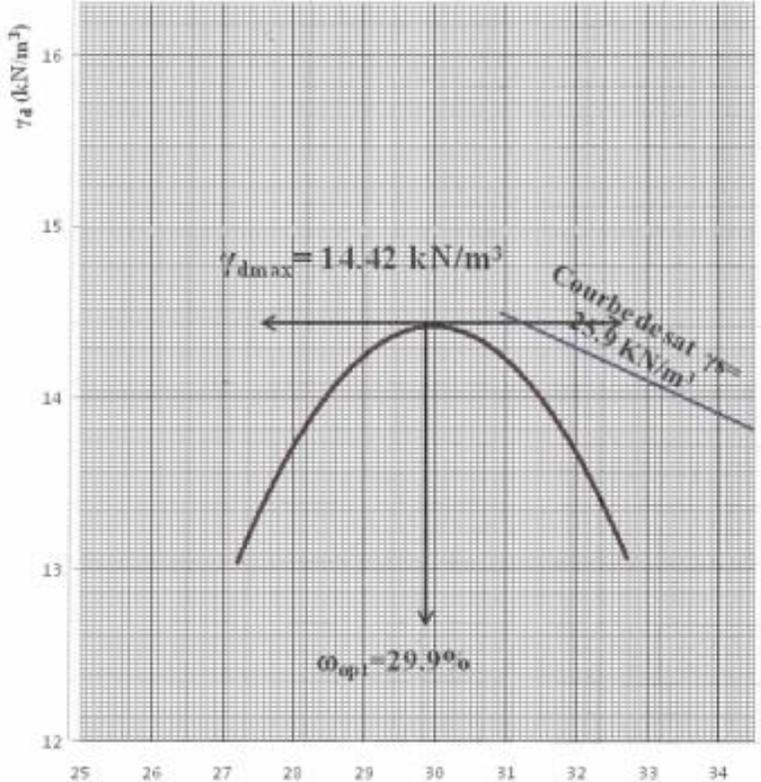
RÉCEPTION N° _____

GRAPHIQUE N° _____

ANNEXE N° _____

Point	1	2	3	4	5
w %	27.8	30	31.6		
δd	13.06	14.44	13.99		
δd opt :	14.42				

		KN/m ³		W opt :	29.9
--	--	-------------------	--	---------	------



Teneur en eau %



C.B.R. (S - II) (INDICE PORTANT C.B.R.)

Chantier : _____

Réception n° _____

Réf. Sondage : _____

Opérateur : _____

Date : _____

RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR MODIFIE

 $\gamma_d \text{ opt} = 14.78 \text{ KN/m}^3$
 $W \text{ opt.} = 28.5\%$

Essais à 0 heure d'imbibition

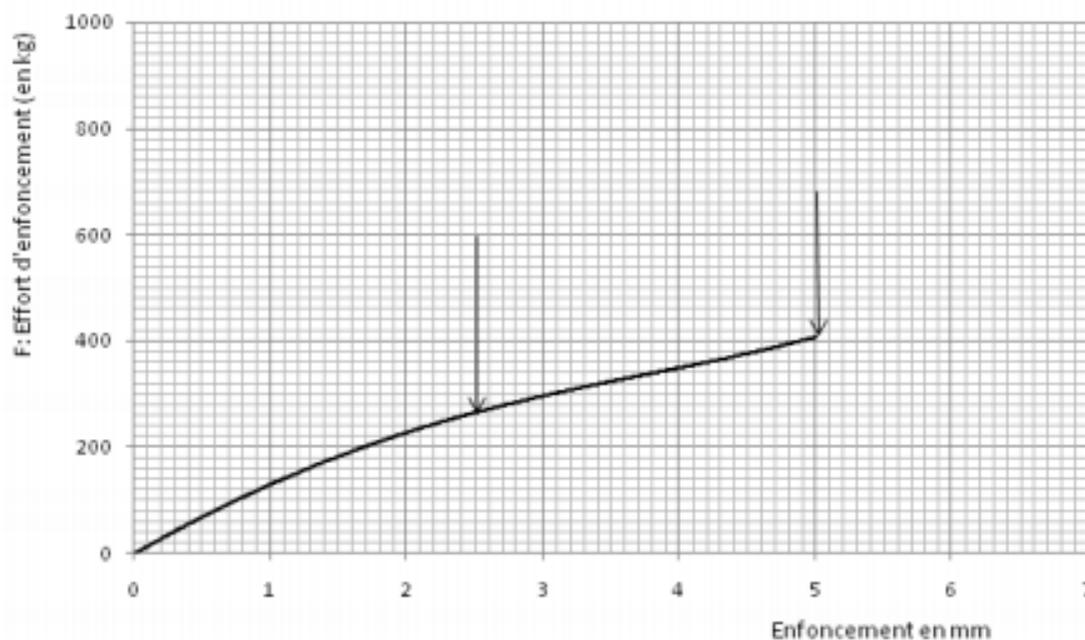
Numéro des échantillons					
Teneurs en eau Avant compactage	Numéro de la tare			11A	
	Poids de la tare (1)			37	
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)			258.5	
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)			229	
	Poids d'eau (2) - (3) (4)			29.5	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)			192	
	Teneur en eau (4) : (5) (6)			15.4	
	Teneur en eau moyenne w % i			15.4	
Poids d'eau à ajouter	Energie			25 coups	
	$\Delta w = w \text{ opt.} - w_i$			13.3	
	Poids humide de l'échant. P h			5500	
	Poids sec $P_s = P_h / (1 + w_i)$			4767.49	
	Poids d'eau ajoutée $P_e = P_s \times \Delta w$			600cm ³	
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare			A4	
	Poids de la tare (1)			33	
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)			280	
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)			223	
	Poids d'eau (2) - (3) (4)			57	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)			190	
	Teneur en eau (4) : (5)			30	
	Teneur en eau moyenne w %			30	
Caractéristiques pondérales des moulages	N° du moule			26	
	Poids du moule (7)			3393	
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)			7391	
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) = (9)			3998	
	Volume du moule (10)			2243.5	
	Poids volumique humide (9) : (10) (11)			17.82	
	Teneur en eau moyenne w %			30	
	Poids volumique sec $\frac{100}{1+w}$ (12)			13.71	
Indice de compacité % I.C. = (12) / $\gamma_d \text{ opt.}$			95%		

Essais après 96 heures d'imbibition

Teneurs en eau avant compactage	Numéro des échantillons						
	Numéro de la tare				11A		
	Poids de la tare (1)				37		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				258.5		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				229		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				29.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				192		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				15.4		
Teneur en eau moyenne w %				15.4			
Poids d'eau à ajouter	Energie		10 coups	25 coups	55 coups		
	$\Delta W = W_{opt} - W_1$				13.3		
	Poids humide de l'échant. Ph				5500		
	Poids d'eau ajoutée $P_e - P_s \times W$				4767.5		
	Poids sec $P \cdot Ph / (1 + W)$				600cm ³		
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare				A4		
	Poids de la tare (1)				33		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				280		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				223		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				57		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				190		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				30		
	Teneur en eau moyenne W %				30%		
Teneurs en eau après imbibition	Numéro de la tare				P		
	Poids de la tare (1)				33		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				266		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				221.1		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				43.9		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				189.1		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				23.2		
	Teneur en eau moyenne W %				23.2%		
Caractéristiques pondérales	N du moule / hauteur h				38/124.7		
	Poids du moule (7)				3432		
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)				7507		
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) (9)				4075		
	Volume $f = V_i (1 + \frac{\Delta h}{h})$ (10)				2266.5		
	Poids volumique humide (9) : (10) (11)				17.98		
	Teneur en eau moyenne W % ()				23.2		
	Poids volumique sec				14.59		
Mesure de gonflement							
Date	10 coups	25 coups	55 coups	Date	10 coups	25 coups	55 coups
Gonflement absolu Δh : 0.02 mm				Gonflement relatif : $(\Delta h/h) \times 100$: 0.02 %			

C.B.R. Poinçonnements a 96 h						Réf. Sondage : _____							
Anneau : 30kN						Opérateur : _____							
Date : _____													
Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT					
	10 coups		25 coups		55 coups			10 coups		25 coups		55 coups	
	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)		Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)
0.20			1			3.50			16.5				
0.40			2			4.00			17.5				
0.60			4			4.50			18.5				
0.80			6			5.00			20.5	410			
1.00			7			5.50							
1.25			8			6.00							
1.50			9			6.50							
2.00			11			7.00							
2.50			13	260		7.50							
3.00			15										

COURBE DE POINÇONNEMENT



Calcul de l'indice portant

F en kilogrammes	10 coups	25 coups	55 coups
$F(25)$ à 25 mm $\frac{\quad}{1351} \times 100$		19	
$F(5)$ à 5 mm $\frac{\quad}{20255} \times 100$		20	

ECHANTILLON 1 TRAITE AU TERRASIL +
ZYCOBOND + CIMENT



S-10

TR+ZB+C

ESSAI PROCTOR

NORMAL :

MODIFIE :

UNITES DE MESURE
UTILISEESGramme (g)
Centimètre cube (cm³)
KiloNewton par mètre cube (kN / m³)

Dossier n° :

Reception n° :

Chantier :		Sondage		Profondeur		Operateur :		Date					
MOULE C.B.R.		Nature du matériau :				Poids total :							
		Teneur en eau naturelle (W) :				Poids refus à 20 mm module AFNOR N° 44 :							
		% refus :											
POINT N°		1		2		3		4		5		6	
TENEURS EN EAU	Tare n°	s6		j15		I							
	Poids de la tare (1)	33		35		33							
	Poids matériau humide + tare (2)	260		280		310							
	Poids matériau sec + tare (3)	216		223.5		243.5							
	Poids d'eau (4) = (2) - (3)	44		56.50		66.5							
	Poids matériau sec (5) = (3) - (1)	183		188		210.5							
	Teneur en eau (W) = (4) / (5)	24%		30%		31.6%							
Teneur en eau moyen W (6)		24%		30%		31.6%							
POIDS VOLUMIQUES	Poids d'eau ajoutée	560		570		580							
	N° Moule	p2		-		-							
	Poids du moule (7)	3509		-		-							
	Poids matériau humide + moule (8)	7188		7656		7442							
	Poids matériau humide (9) = (8) - (7)	3679		4147		3933							
	Volume du moule (10)	2248,7		-		-							
	Poids volumique humide (11) = (9) / (10)	16.36		18.44		17.49							
Poids volumique sec (12) = $\frac{100 \times (11)}{100 + (6)}$	13.19		14.4		13.4								



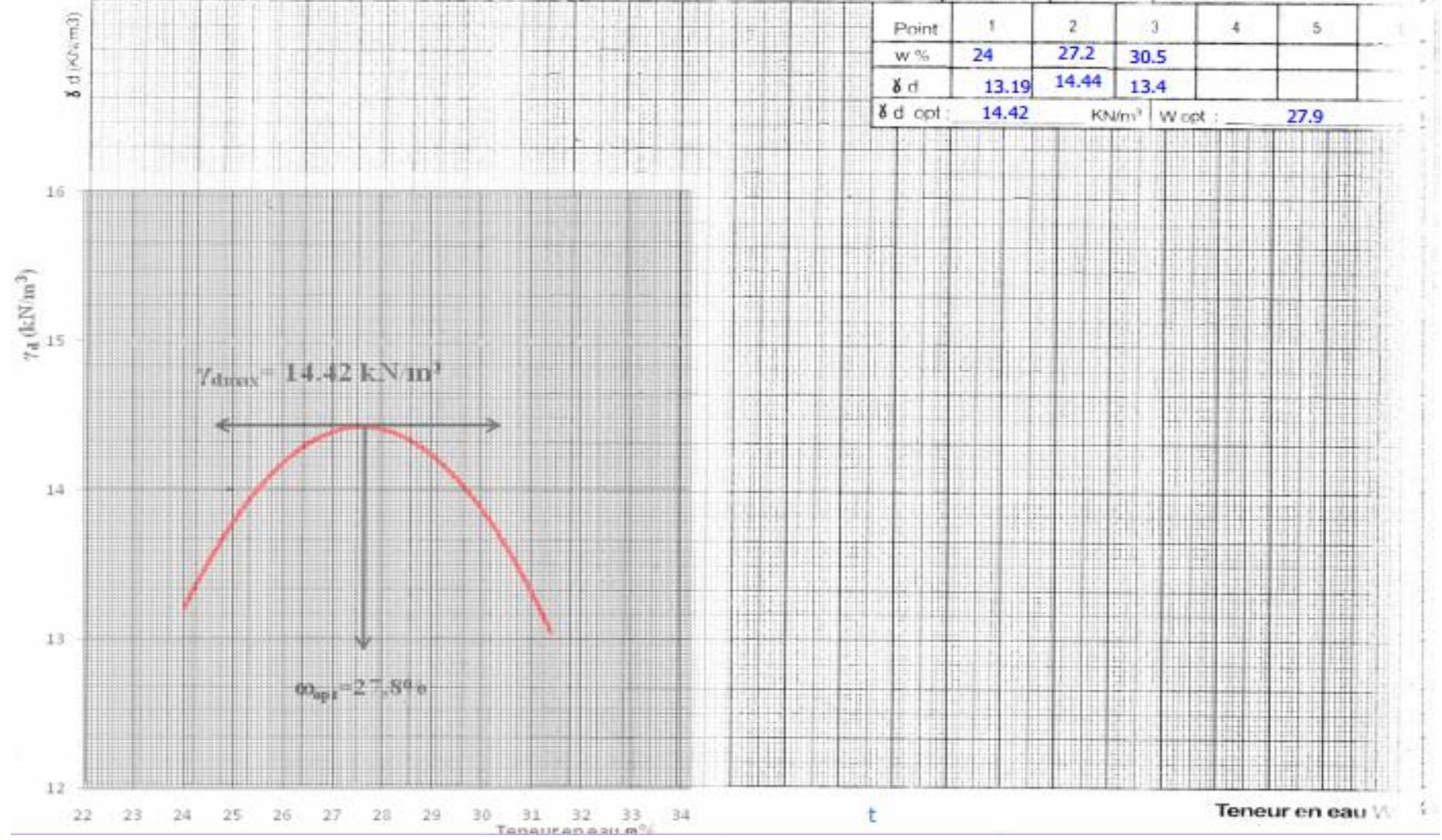
ESSAI PROCTER
S - 10
NORMAL MODIFIÉ
MOULE C B R

CHANTIER _____
SONDAGE _____
PROFONDEUR _____
NATURE _____

Refus à 20 mm = _____ %
δ d opt corrigé KN/m³ _____
W opt corrigé % _____

DOSSIER N° _____
RÉCEPTION N° TR+ZB+C
GRAPHIQUE N° _____
ANNEXE N° _____

Point	1	2	3	4	5
w %	24	27.2	30.5		
δ d	13.19	14.44	13.4		
δ d opt : _____ KN/m ³	14.42			W opt : _____	27.9





C.B.R. (S - 11) (INDICE PORTANT C.B.R.)

Chartier :

TR+ZB+C

Réception :

Réf. Sondage : _____

Opérateur : _____

Date : _____

RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR MODIFIE

$\gamma_d \text{ opt} =$ 14.42 KN/m³ $W \text{ opt.} =$ 27.6%

Essais à 0 heure d'imbibition

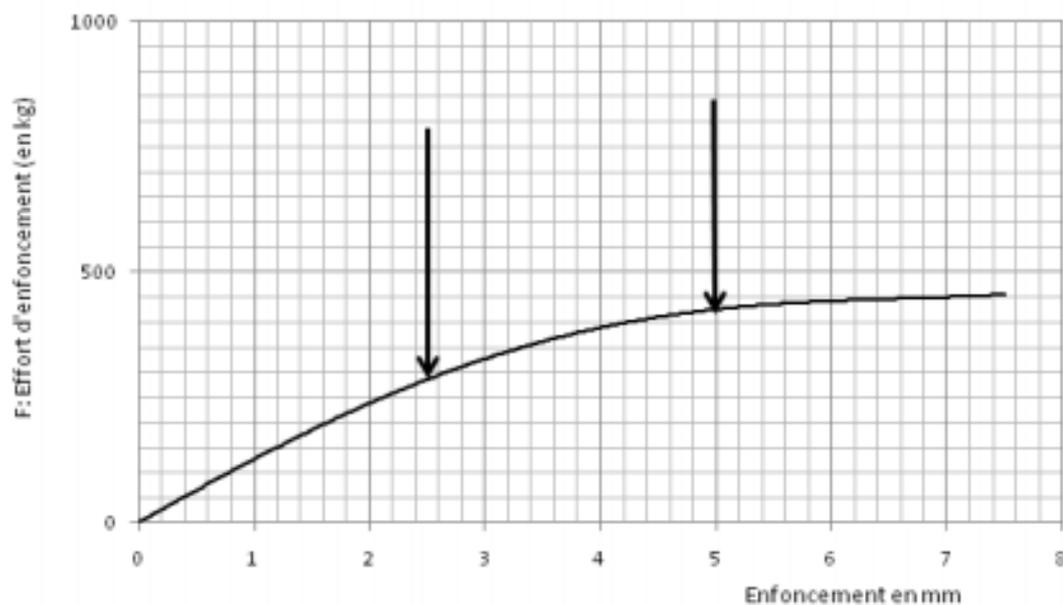
Numéro des échantillons				
Teneurs en eau Avant compactage	Numéro de la tare			11A
	Poids de la tare (1)			37
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)			258.5
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)			229
	Poids d'eau (2) - (3) (4)			29.5
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)			192
	Teneur en eau (4) : (5) (6)			15.4
	Teneur en eau moyenne w % i			15.4
Poids d'eau à ajouter	Energie			25 coups
	$\Delta w = w \text{ opt.} - w_i$			12.4
	Poids humide de l'échant. P h			5500
	Poids sec $P_s = P_h / (1 + w_i)$			4767.49
	Poids d'eau ajoutée $P_e = P_s \times \Delta w$			590cm ³
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare			J31
	Poids de la tare (1)			32
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)			278
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)			224
	Poids d'eau (2) - (3) (4)			54
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)			192
	Teneur en eau (4) : (5)			28.1
	Teneur en eau moyenne w %			28.1
Caractéristiques pondérales des moulages	N° du moule			44
	Poids du moule (7)			3351
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)			7354
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) = (9)			4003
	Volume du moule (10)			2243
	Poids volumique humide (9) : (10) (11)			17.85
	Teneur en eau moyenne w %			28.1
	Poids volumique sec $\frac{100}{1+w}$ (12)			13.93
	indice de compacité % I.C. = (12) $\gamma_d \text{ opt}$			96%

Essais après 96 heures d'imbibition

		TR+ZB+C					
Teneurs en eau avant compactage	Numéro des échantillons						
	Numéro de la tare		11A				
	Poids de la tare (1)		37				
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)		258.5				
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)		229				
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)		29.5				
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)		192				
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)		15.4				
Teneur en eau moyenne W %		15.4					
Poids d'eau à ajouter	Energie		10 coups	25 coups	55 coups		
	$\Delta W = W_{opt} - W_1$			12.4			
	Poids humide de l'échant. Ph			5500			
	Poids d'eau ajoutée Pe - Ps x W			4767.5			
	Poids sec P - Ph : (1 + Wi)			590cm ₃			
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare		A4				
	Poids de la tare (1)		33				
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)		280				
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)		223				
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)		54				
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)		192				
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)		28.1				
	Teneur en eau moyenne W %		28.1%				
Teneurs en eau après imbibition	Numéro de la tare		G				
	Poids de la tare (1)		33				
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)		271				
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)		220				
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)		51				
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)		187				
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)		27.3				
	Teneur en eau moyenne W %		27.3%				
Caractéristiques pondérales	N du moule / hauteur h		44/124				
	Poids du moule (7)		3351				
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)		7346				
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) (9)		3995				
	Volume $V = V_1 (1 + \frac{\Delta h}{h})$ (10)		2243.5				
	Poids volumique humide (9) : (10) (11)		17.81				
	Teneur en eau moyenne W % ()		27.3				
	Poids volumique sec		13.99				
Mesure de gonflement							
Date	10 coups	25 coups	55 coups	Date	10 coups	25 coups	55 coups
Gonflement absolu Δh : <u>0.02</u> mm				Gonflement relatif : $(\Delta h/h) \times 100$: <u>0.02</u> %			

C.B.R. Poinçonnements a 96 h						Réf. Sondage : _____							
Anneau 30kN				Opérateur : _____				Date : _____					
Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT					
	10 coups		25 coups		55 coups			10 coups		25 coups		55 coups	
	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)		Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)
0.20			1.5			3.50			17.5				
0.40			2.5			4.00			19.5				
0.60			3.5			4.50			20.5				
0.80			5			5.00			21.5	430			
1.00			6.5			5.50			22				
1.25			8			6.00			22				
1.50			9.5			6.50			22				
2.00			11.5			7.00			22				
2.50			14.5	290		7.50			23				
3.00			16										

COURBE DE POINÇONNEMENT



Calcul de l'indice portant

F en kilogrammes	10 coups	25 coups	55 coups
$F(25)$ à 25 mm $\frac{\quad}{1361} \times 100$		21	
$F(5)$ à 5 mm $\frac{\quad}{20265} \times 100$		21	

ECHANTILLON 2

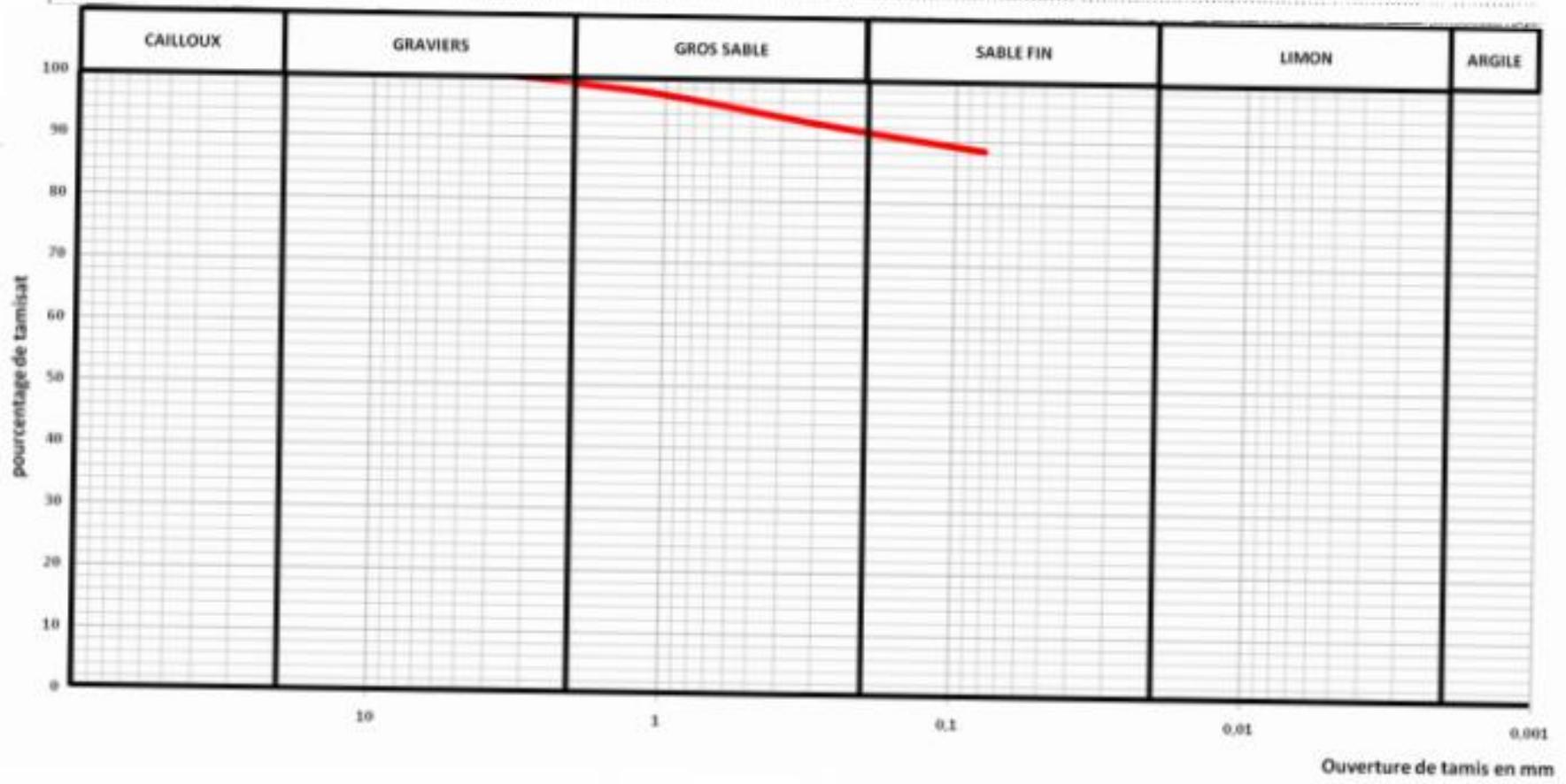


ANALYSE GRANULOMETRIQUE DE SOLS

Représentation graphique	N° Echant	Profondeur du prélèvement, en (m)	Nature	Limites Atterberg			I.S.	Classification		
				WL	WP	IP		HRB	LCP	GTR

Dossier n°
 Réception n°
 Graphique n°
 Annexe :

CHANTIER :





LIMITES D'ATTERBERG S.04

WL - Wp = Ip

DOSSIER **2**

RECEPTION :

GRAPHIQUE

ANNEXE :

CHANTIER :	Sondage :	Profondeur :
Date :	Opérateur :	

1) LIMITE DE LIQUIDE WL

Nombre de coups : N	17		23		29			
Tare N°	27	57	80	140	37	107		
Poids tare (1)	15.14	15.42	15.79	15.65	15.45	14.79		
Poids total humide (2)	25.67	26.01	25.17	26.94	26.45	25.21		
Poids total sec (3)	21.66	21.97	21.66	22.75	22.43	21.40		
Poids d'eau (4) = 2 - 3	4.01	4.04	3.51	4.19	4.02	3.21		
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	6.52	6.55	5.87	7.10	6.98	6.61		
Teneur en eau W% (4) / (5)	61.50	61.68	59.80	59.8	57.59	57.64		
Teneur en eau moyenne W%	61.59		59.44		57.62			



2) LIMITE DE PLASTICITE Wp		3) RESULTATS	
Tare N°	10	157	LIMITE DE LIQUIDITE (WL) : 59%
Poids tare (1)	13.66	14.27	
Poids total humide (2)	21.17	21.09	LIMITE DE PLASTICITE (Wp) : 20.3%
Poids total sec (3)	19.9	19.94	
Poids d'eau (4) = 2 - 3	1.27	1.15	INDICE DE PLASTICITE (Ip) : 38.7 (Ip = WL - Wp)
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	6.24	5.67	
Teneur en eau W% (4) / (5)	20.3	20.8	
Teneur en eau moyenne W%	20.3%		



S-10

ESSAI PROCTOR

NORMAL :

MODIFIE :

UNITES DE MESURE
UTILISEESGramme (g)
Centimetre cube (cm³)
KiloNewton par metre cube (kN / m³)

Dossier n° : 2

Reception n° :

Chantier :

Sondage :

Profondeur :

Operateur :

Date :

MOULE C.B.R.

Nature du matériau :

Teneur en eau naturelle (W) :

Poids total :

Poids refus à 20 mm module AFNOR N° 44 :

% refus :

POINT N°		1	2	3	4	5	6
TENEURS EN EAU	Tare n°	J	I	I3			
	Poids de la tare (1)	32	33	31			
	Poids matériau humide + tare (2)	295	286	254			
	Poids matériau sec + tare (3)	249.5	238.5	209.5			
	Poids d'eau (4) = (2) - (3)	45.5	47.5	44.5			
	Poids matériau sec (5) = (3) - (1)	217.5	205.5	178.5			
Teneur en eau (W) = (4) / (5)	20.9	23.1	25				
Teneur en eau moyen W (6)		21%	23%	25%			
POIDS VOLUMIQUES	Poids d'eau ajoutée						
	N° Moule	P2	.	.			
	Poids du moule (7)	3509	.	.			
	Poids matériau humide + moule (8)	6613	7852	7703			
	Poids matériau humide (9) = (8) - (7)	4101	4343	4194			
	Volume du moule (10)	2248.7	.	.			
	Poids volumique humide (11) = (9) / (10)	18.25	19.31	18.65			
Poids volumique sec (12) = $\frac{100 \times (11)}{100 + (6)}$	15.09	15.69	14.93				



ESSAI PROCTER
S - 10
NORMAL MODIFIÉ
MOULE CBR

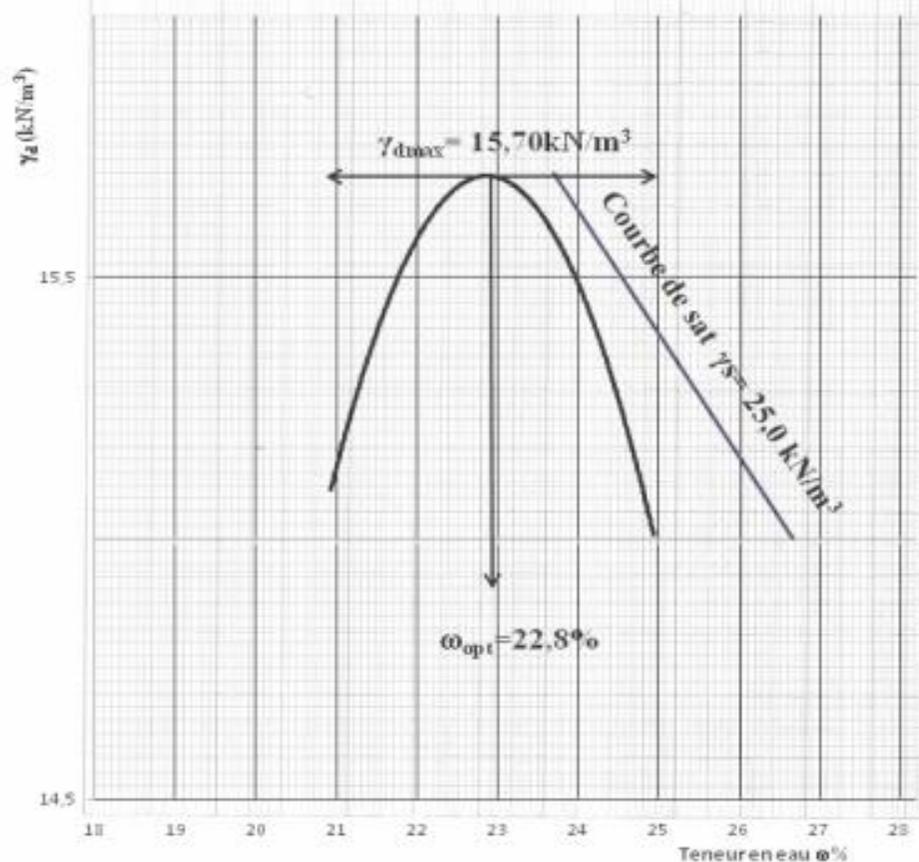
CHANTIER _____
SONDAGE _____
PROFONDEUR _____
NATURE _____

Refus à 20 mm = _____ %
δ d opt corrigé KN/m³ _____
W opt corrigé % _____

DOSSIER N° _____
RÉCEPTION N° 2
GRAPHIQUE N° _____
ANNEXE N° _____

δ d (KN/m ³)					
--------------------------	--	--	--	--	--

Point	1	2	3	4	5
w %	21	23	25		
δ d	15.09	15.69	14.93		
δ d opt :	15.7	KN/m ³	W opt :	28.2	



E

Teneur en eau %



C.B.R. (S - 11) (INDICE PORTANT C.B.R.)

Chantier : _____

Réception n° : _____

Réf. Sondage : _____

Opérateur : _____

Date : _____

RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR MODIFIE

$\gamma_d \text{ opt} =$ **15.70** KN/m³

$W \text{ opt} =$ **22.8** %

Essais à 0 heure d'imbibition

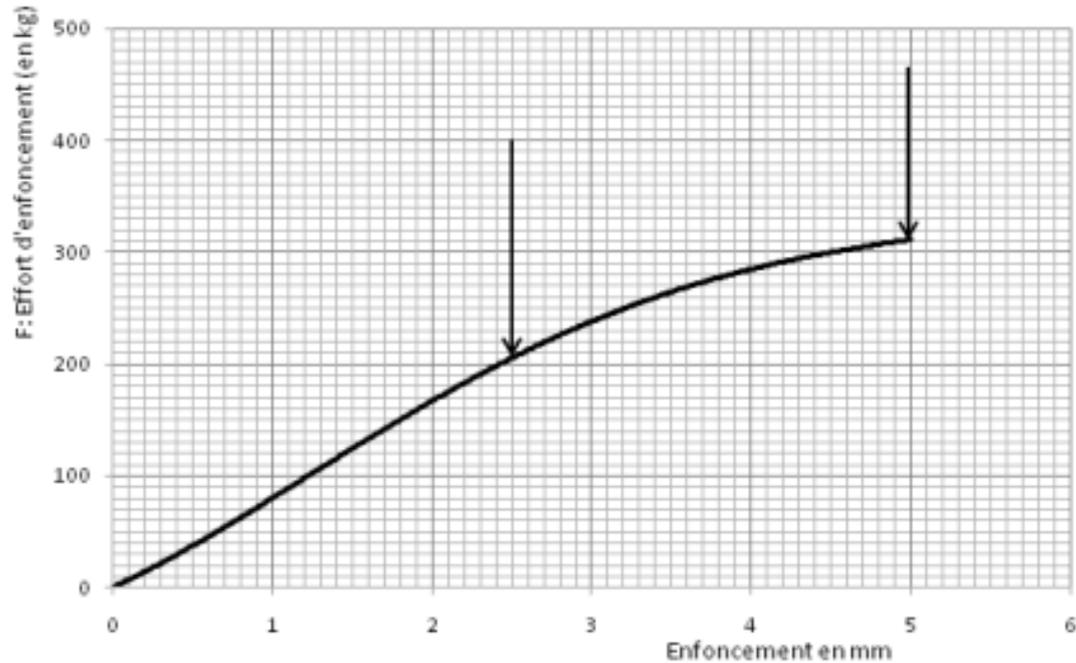
Numéro des échantillons		2
Teneurs en eau Avant compactage	Numéro de la tare	s15
	Poids de la tare (1)	33.5
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)	300
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)	266.5
	Poids d'eau (2) - (3) (4)	33.5
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)	233
	Teneur en eau (4) : (5) (6)	14.38
	Teneur en eau moyenne w % i	14.38
Poids d'eau à ajouter	Energie	25 coups
	$\Delta w = w \text{ opt} - w_i$	8.4
	Poids humide de l'échant. P h	5500
	Poids sec $P_s = P_h / (1 + w_i)$	4808.63
	Poids d'eau ajoutée $P_e = P_s \times \Delta w$	405 cm ³
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare	s27
	Poids de la tare (1)	32
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)	267
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)	212
	Poids d'eau (2) - (3) (4)	55
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)	180
	Teneur en eau (4) : (5)	30.6
	Teneur en eau moyenne w %	30.6%
Caractéristiques pondérales des moulages	N° du moule	24
	Poids du moule (7)	3389
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)	7784
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) = (9)	4395
	Volume du moule (10)	2256.3
	Poids volumique humide (9) : (10) (11)	19.48
	Teneur en eau moyenne w %	30.6
	Poids volumique sec $\frac{100 \times 19.48}{100 - 30.6}$ (12)	14.92
indice de compacité % I.C. = (12) / $\gamma_d \text{ opt}$		95%

Essais après 96 heures d'imbibition

Teneurs en eau avant compactage	Numéro des échantillons						
	Numéro de la tare				s15		
	Poids de la tare (1)				33.5		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				300		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				266.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				33.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) = (5)				233		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				14.4		
Teneur en eau moyenne W %				14.4			
Poids d'eau à ajouter	Energie		10 coups	25 coups	55 coups		
	$\Delta W = W_{opt} - W_1$			8.4			
	Poids humide de l'échant. Ph			5500			
	Poids d'eau ajoutée Pe - Ps x W			4806			
Poids sec P - Ph / (1 + W)			405				
Teneurs en eau de compactage	Numero de la tare				s27		
	Poids de la tare (1)				32		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				267		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				212		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				22		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				180		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				30.6		
	Teneur en eau moyenne W %				30.6		
Teneurs en eau après imbibition	Numero de la tare				c		
	Poids de la tare (1)				32.5		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				284		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				223.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				60.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				191		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				31.7		
	Teneur en eau moyenne W %				31.7		
Caractéristiques pondérales	N du moule / hauteur h				24/124.9		
	Poids du moule (7)				3389		
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)				7808.5		
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) (9)				4499.5		
	Volume $V = V_1 + \Delta h$ (10)				2305.1		
	Poids volumiques humide (9) : (10) (11)				19.52		
	Teneur en eau moyenne W % ()				31.7		
	Poids volumique sec				14.82		
Mesure de gonflement							
Date	10 coups	25 coups	55 coups	Date	10 coups	25 coups	55 coups
Gonflement absolu Δh : 2.7 mm				Gonflement relatif : $(\Delta h/h) \times 100$: 2.16 %			

C.B.R. Poinçonnements à 96 h						Réf. Sondage : _____							
Anneau : 5kN						Opérateur : _____							
Date : _____													
Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT					
	10 coups		25 coups		55 coups			10 coups		25 coups		55 coups	
	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)		Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)
0.20			5			3.50			131				
0.40			15			4.00			142				
0.60			22			4.50			151				
0.80			35			5.00			155	310			
1.00			37			5.50			156	312			
1.25			51			6.00							
1.50			61			6.50							
2.00			84			7.00							
2.50			104	208		7.50							
3.00			118										

COURBE DE POINÇONNEMENT



Calcul de l'indice portant

F en kilogrammes	10 coups	25 coups	55 coups
$F(25)$ à 25 mm $\frac{\quad}{1351} \times 100$		15	
$F(5)$ à 5 mm $\frac{\quad}{20255} \times 100$		15	

ECHANTILLON 2 + SABLE 1/4

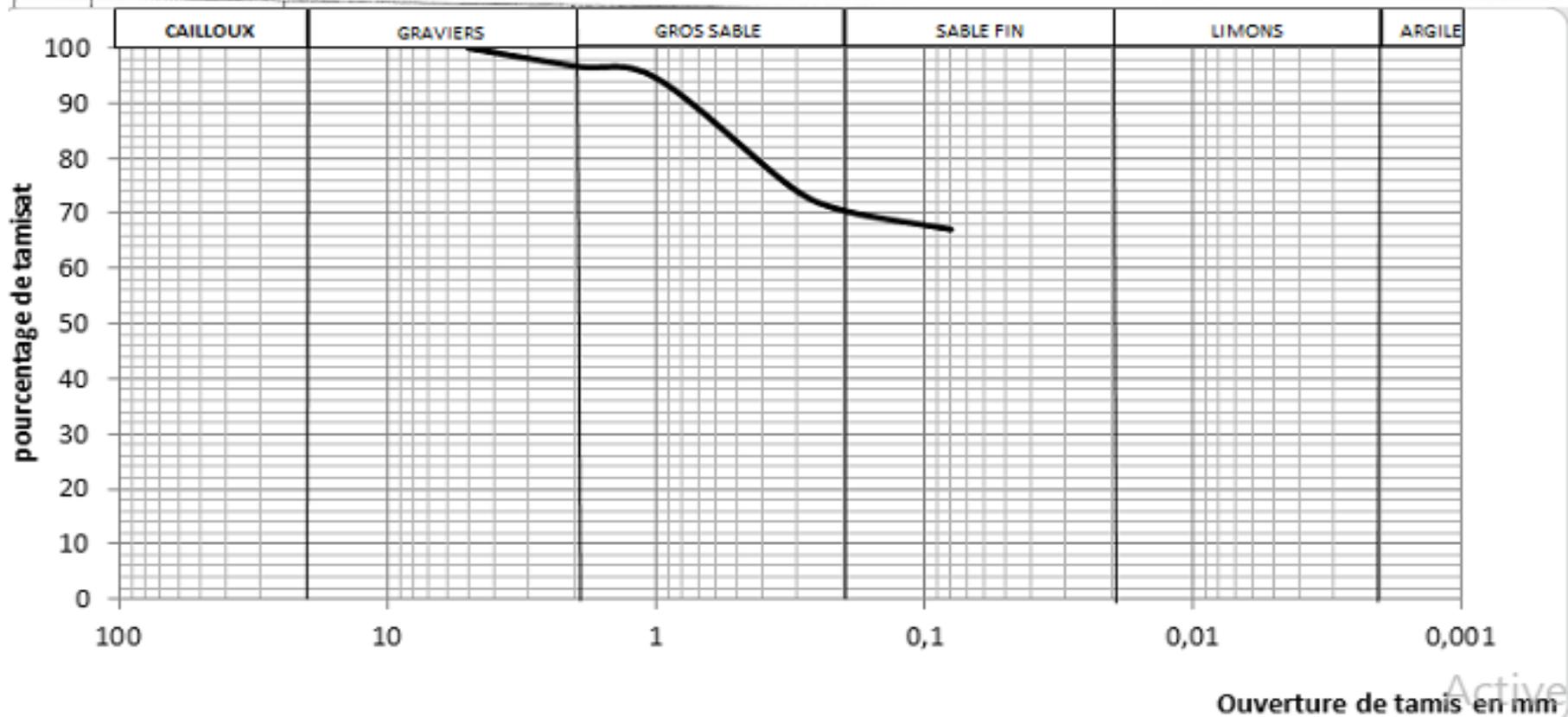


ANALYSE GRANULOMETRIQUE DE SOLS

Représentation graphique	N° Echant	Profondeur du prélèvement, en (m)	NATURE	Limites Atterberg			E.S.	Classification		
				WL	WP	IP		HRB	LCP	GTR

Dossier n°
Réception n°
Graphique n°
Annexe :

CHANTIER :



Ouverture de tamis en mm

Active



LIMITES D'ATTERBERG S.04

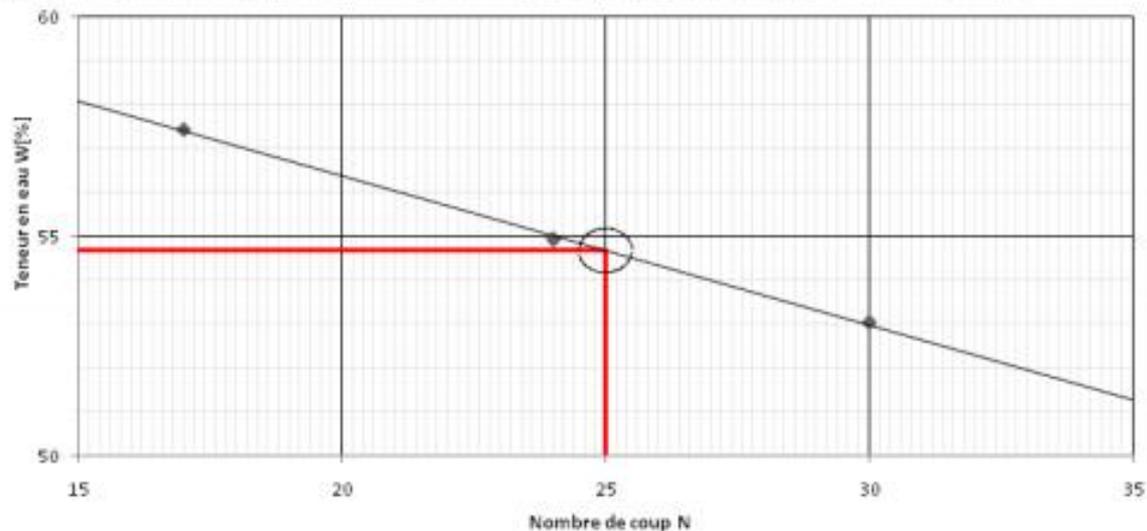
$Wl - Wp = Ip$

DOSSIER
RECEPTION :
GRAPHIQUE
ANNEXE :

CHANTIER : _____ Sondage : _____ Profondeur : _____
Date : _____ Opérateur : _____

1) LIMITE DE LIQUIDE WL

Nombre de coups : N	17		24		30				
Tare N°	102	16	42	32	180	167			
Poids tare (1)	14.67	15.80	15.82	16.20	16.31	15.66			
Poids total humide (2)	21.88	22.15	21.56	21.30	21.88	22.24			
Poids total sec (3)	19.25	19.84	19.52	19.49	19.95	19.96			
Poids d'eau (4) = 2 - 3	2.63	2.31	2.04	1.81	1.93	2.28			
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	4.58	4.02	3.72	3.64	3.64	4.30			
Teneur en eau W% (4) / (5)	57.42	57.46	54.84	55.02	53.02	53.02			
Teneur en eau moyenne W%	57.44		54.93%		53.02%				



2) LIMITE DE PLASTICITE Wp

3) RESULTATS

Tare N°	185	178	LIMITE DE LIQUIDITE (WL) : 54.7%
Poids tare (1)	14.58	14.86	
Poids total humide (2)	17.33	18.44	LIMITE DE PLASTICITE (Wp) : 40.3%
Poids total sec (3)	16.54	17.41	
Poids d'eau (4) = 2 - 3	0.79	1.15	INDICE DE PLASTICITE (Ip) : 14.3 (Ip = WL - Wp)
Poids matériaux sec (5) = (3) - (1)	1.96	2.55	
Teneur en eau W% (4) / (5)	40.31	40.39	
Teneur en eau moyenne W%	40.35%		

ECHANTILLON 2 + SABLE $\frac{1}{4}$ + TERRASIL +
ZYCOBOND 25 cm³



S-10

ESSAI PROCTOR

NORMAL :

MODIFIÉ :

UNITES DE MESURE UTILISEES

Gramme (g)
Centimètre cube (cm³)
KiloNewton par mètre cube (kN / m³)

Dossier n° : 1/4S+ TR+25 CC ZB

Reception n° :

Chantier :		Sondage :		Profondeur :		Operateur :		Date :					
MOULE C.B.R.		Nature du matériau :				Poids total :							
		Teneur en eau naturelle (W) :				Poids refus à 20 mm module AFNOR N° 44 :							
						% refus :							
POINT N°		1		2		3		4		5		6	
TENEURS EN EAU	Tare n°	34		a		15							
	Poids de la tare (1)	32		25		32							
	Poids matériau humide + tare (2)	219		232		247							
	Poids matériau sec + tare (3)	193		200		209							
	Poids d'eau (4) = (2) - (3)	26		32.5		38							
	Poids matériau sec (5) = (3) - (1)	161		175		177							
	Teneur en eau (W) = (4) / (5)	16		18.6		21.5							
Teneur en eau moyen W (6)		16%		18.6%		21.5%							
POIDS VOLUMIQUES	Poids d'eau épulée												
	N° Moule	P2		-		-							
	Poids du moule (7)	3509		-		-							
	Poids matériau humide + moule (8)	7501		7979		7716							
	Poids matériau humide (9) = (8) - (7)	3992		4470		4207							
	Volume du moule (10)	2248.7		-		-							
	Poids volumique humide (11) = (9) / (10)	17.75		19.88		18.71							
Poids volumique sec (12) = $\frac{100 \times (11)}{100 + (6)}$	15.28		16.76		15.40								



ESSAI PROCTOR
S - 10

NORMAL MODIFIÉ

MOULE CBR

CHANTIER _____
SONDAGE _____
PROFONDEUR _____
NATURE _____

Refus
à 20 mm = _____ %

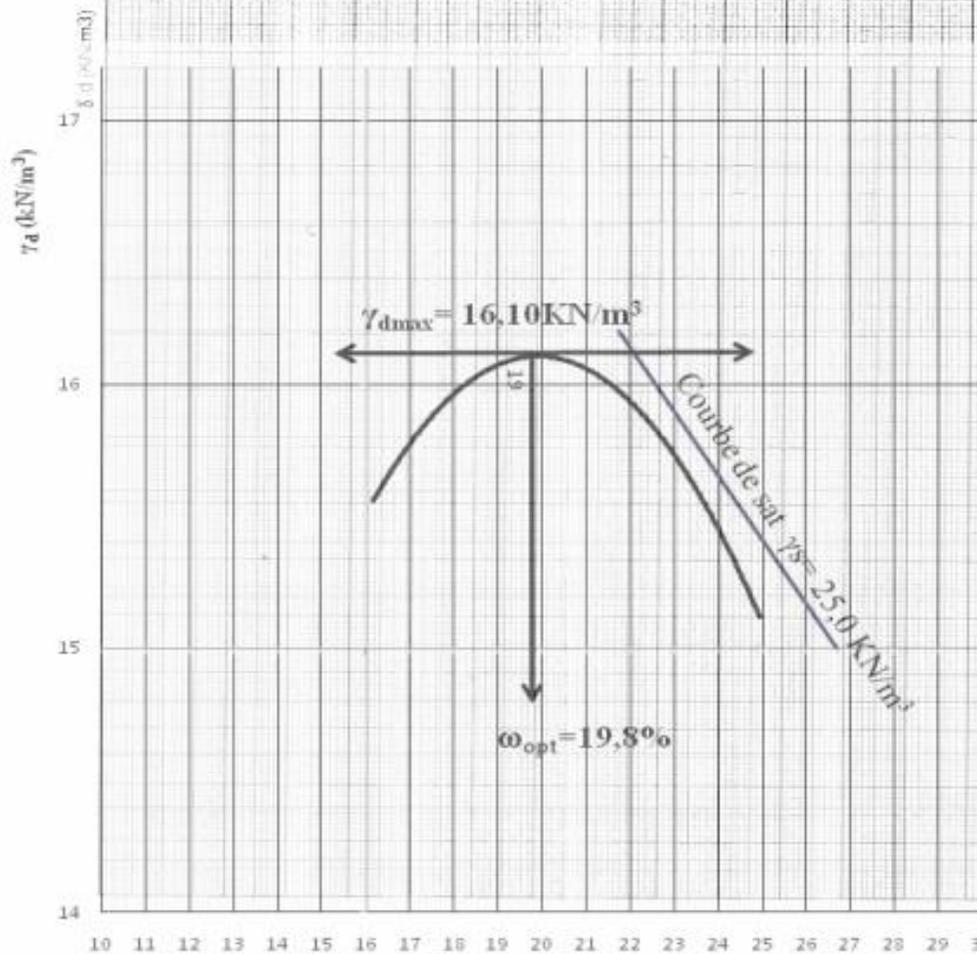
γ_d opt
corrigé
KN/m³ _____
W opt
corrigé
% _____

DOSSIER N° _____

RÉCEPTION N° _____

GRAPHIQUE N° _____

ANNEXE N° _____



Point	1	2	3	4	5
w %	16	18.6	21.5		
γ_d	15.28	16.76	15.40		
γ_d opt :	16.10		KN/m ³	W opt : 19.8	

V

Teneur en eau (%)



C.B.R. (S - 11) (INDICE PORTANT C.B.R.)

Charte n° _____

Reception n° _____

Réf. Sondage _____

Opérateur _____

Date _____

RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR MODIFIE

$\gamma_d \text{ opt} =$ **16.10** KN/m³

$W \text{ opt.} =$ **19.8%**

Essais à 0 heure d'imbibition

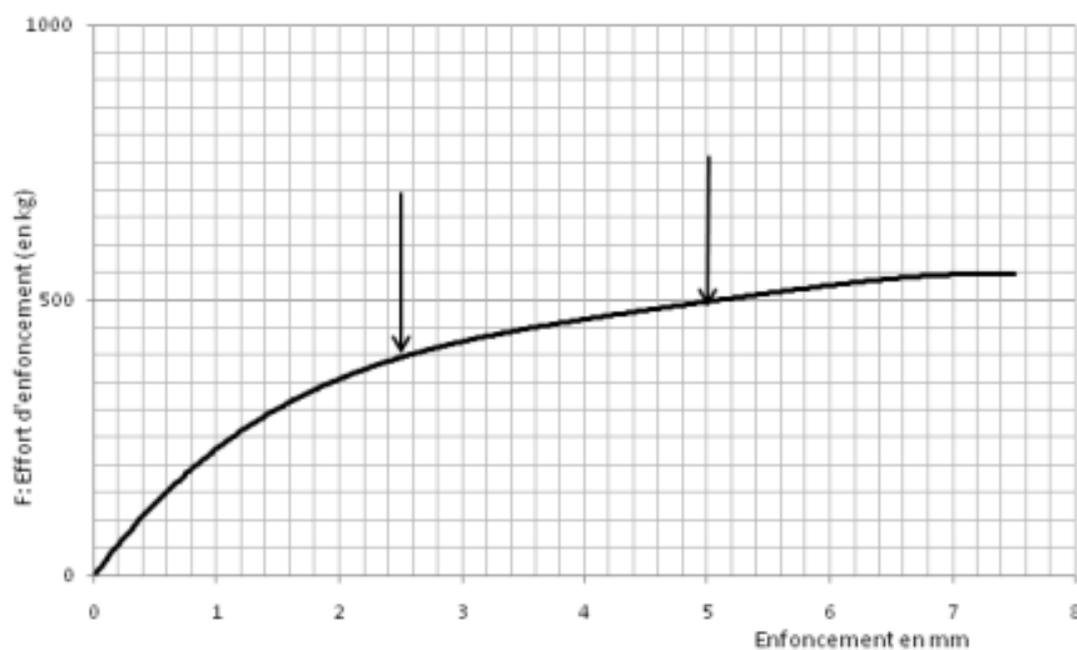
Numéro des échantillons		2+1/4+TR+25%ZB	
Teneurs en eau Avant compactage	Numéro de la tare		j26
	Poids de la tare (1)		31
	Poids total humide (tare – échantillon) (2)		255.5
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)		231.5
	Poids d'eau (2) - (3) (4)		24
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)		200.5
	Teneur en eau (4) : (5) (6)		12
	Teneur en eau moyenne $w \% i$		12
Poids d'eau à ajouter	Energie		25 coups
	$\Delta w = w \text{ opt.} - w_i$		8.1
	Poids humide de l'échant. Ph		5500
	Poids sec $P_s = P_h / (1 + w_i)$		4912.03
	Poids d'eau ajoutée $P_e = P_s \times \Delta w$		395 cm.
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare		T7
	Poids de la tare (1)		32.5
	Poids total humide (tare – échantillon) (2)		166.5
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)		141.5
	Poids d'eau (2) - (3) (4)		25
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)		109
	Teneur en eau (4) : (5)		22.9
	Teneur en eau moyenne $w \%$		22.9%
Caractéristiques pondérales des moulages	N° du moule		16
	Poids du moule (7)		3313
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)		4213
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) = (9)		4395
	Volume du moule (10)		2230.8
	Poids volumique humide (9) : (10) (11)		18.89
	Teneur en eau moyenne $w \%$		22.9
	Poids volumique sec $\frac{100 \times P_s}{100 - w}$ (12)		15.36
Indice de compacité % I.C. = (12) / $\gamma_d \text{ opt.}$			95%

Essais après 96 heures d'imbibition

Teneurs en eau avant compactage	Numéro des échantillons						
	Numéro de la tare				J26		
	Poids de la tare (1)				31		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				255.5		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				231.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				24		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) = (5)				200.5		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				12		
Teneur en eau moyenne W %				12			
Poids d'eau à ajouter	Energie		10 coups	25 coups	55 coups		
	$\Delta W = W_{opt} - W_1$			8.1			
	Poids humide de l'échant. Ph				5500		
	Poids d'eau ajoutée $P_e - P_s \times W$				4912		
Poids sec $P \cdot Ph : (1 + W)$				395 cm ³			
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare				T7		
	Poids de la tare (1)				32.5		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				166.5		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				141.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				25		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				109		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				22.9		
	Teneur en eau moyenne W %				22.9		
Teneurs en eau après imbibition	Numéro de la tare				J1		
	Poids de la tare (1)				32		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				287		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				239		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				48		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				207		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				23.2		
	Teneur en eau moyenne W %				23.2		
Caractéristiques pondérales	N du moule / hauteur h				16/123		
	Poids du moule (7)				3313		
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)				7656		
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) (9)				4343		
	Volume $f = V : (1 + \Delta h)$ (10)				2233.3		
	Poids volumiques humide (9) : (10) (11)				19.45		
	Teneur en eau moyenne W % ()				23.2		
	Poids volumique sec				15.79		
Mesure de gonflement							
Date	10 coups	25 coups	55 coups	Date	10 coups	25 coups	55 coups
Gonflement absolu Δh : 0.14 mm				Gonflement relatif : $(\Delta h/h) \times 100$ 0.11 %			

C.B.R. Poinçonnements à 96 h						Réf. Sondage : _____							
Anneau 30kN				Opérateur : _____				Date : _____					
Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT					
	10 coups		25 coups		55 coups			10 coups		25 coups		55 coups	
	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)		Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)
0.20			2				3.50			22			
0.40			5				4.00			23.5			
0.60			8				4.50			24			
0.80			10				5.00			26	520		
1.00			12				5.50			26			
1.25			14				6.00			26			
1.50			15.5				6.50			26.5			
2.00			17.5				7.00			26.5			
2.50			19	380			7.50			28			
3.00			21										

COURBE DE POINÇONNEMENT



Calcul de l'indice portant			
F en kilogrammes	10 coups	25 coups	55 coups
$F(25)$ à 25 mm $\frac{F(25)}{1351} \times 100$		28	
$F(5)$ à 5 mm $\frac{F(5)}{20255} \times 100$		26	

ECHANTILLON 2 + SABLE $\frac{1}{4}$ + TERRASIL +
ZYCOBOND 30 cm³



S-10

ESSAI PROCTOR

NORMAL :

MODIFIE :

UNITES DE MESURE UTILISEES

Gramme (g)
Centimetre cube (cm³)
KiloNewton par metre cube (kN / m³)

Dossier n° : **2**

Reception n° :

Chantier :		Sondage :		Profondeur :		Operateur :		Date :					
MOULE C.E.R. :		Nature du matériau :				Poids total :							
		Teneur en eau naturelle (W) :				Poids refus à 20 mm module AFNOR N° 44 :							
						% refus :							
POINT N°		1		2		3		4		5		6	
TENEURS EN EAU	Tare n°	s		1		k							
	Poids de la tare (1)	32		38		35							
	Poids matériau humide + tare (2)	270		202		298							
	Poids matériau sec + tare (3)	239		174		250							
	Poids d'eau (4) = (2) - (3)	31		28		48							
	Poids matériau sec (5) = (3) - (1)	207		136		215							
Teneur en eau (W) = (4) / (5)		15		20.6		22.3							
Teneur en eau moyen W (6)		15%		20.6%		22.3%							
POIDS VOLUMIQUES	Poids d'eau ajoutée												
	N° Moule	P2		-		-							
	Poids du moule (7)	3509		-		-							
	Poids matériau humide + moule (8)	7476		7923		7853							
	Poids matériau humide (9) = (8) - (7)	3967		4414		4							
	Volume du moule (10)	2248.7		-		-							
	Poids volumique humide (11) = (9) / (10)	17.64		19.63		19.32							
Poids volumique sec (12) = $\frac{100 \times (11)}{100 + (6)}$	15.34		16.28		15.79								



C.B.R. (S - 11) (INDICE PORTANT C.B.R.)

Charte: _____

Réception n° _____

Ref. Sondage: _____

Opérateur: _____

Date: _____

RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR MODIFIE

$\gamma_d \text{ opt} =$ **16.28** KN/m³

$W \text{ opt.} =$ **19.6%**

Essais à 0 heure d'imbibition

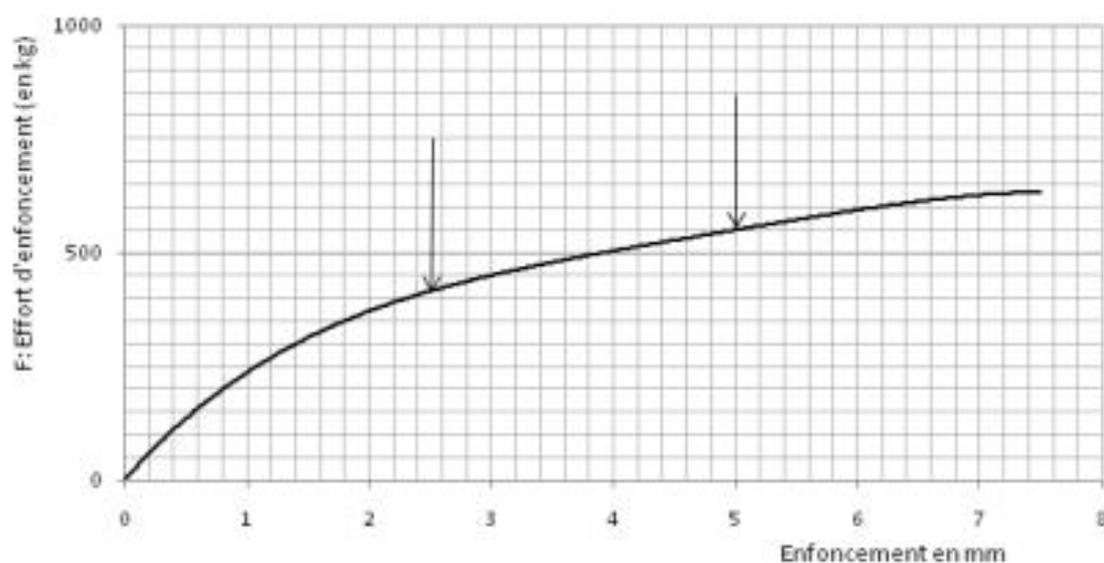
Numéro des échantillons		2+1/4+TR+30%ZB	
Teneurs en eau avant compactage	Numéro de la tare		26
	Poids de la tare (1)		31
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)		255.5
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)		231.5
	Poids d'eau (2) - (3) (4)		24
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)		200.5
	Teneur en eau (4) : (5) (6)		12
	Teneur en eau moyenne $w \%$		12
Poids d'eau à ajouter	Energie		25 coups
	$\Delta w = w \text{ opt.} - w_i$		10
	Poids humide de l'échant. P_h		5500
	Poids sec $P_s = P_h / (1 + w_i)$		4909
	Poids d'eau ajoutée $P_e = P_s \times \Delta w$		515 cm ³
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare		2a
	Poids de la tare (1)		32
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)		353.5
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)		294
	Poids d'eau (2) - (3) (4)		59.5
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)		262
	Teneur en eau (4) : (5)		22.7
	Teneur en eau moyenne $w \%$		22.7%
Caractéristiques pondérales des moulages	N° du moule		7
	Poids du moule (7)		3379
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)		7647
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) = (9)		4268
	Volume du moule (10)		2248.9
	Poids volumique humide (9) : (10) (11)		18.98
	Teneur en eau moyenne $w \%$		22.7
	Poids volumique sec $\frac{100 \times P_s}{100 - w}$ (12)		15.47
indice de compacité % I.C. = (12) $\gamma_d \text{ opt.}$			95%

Essais après 96 heures d'imbibition

Teneurs en eau avant compactage	Numéro des échantillons							
	Numero de la tare						126	
	Poids de la tare (1)						31	
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)						255.5	
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)						231.5	
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)						24	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) = (5)						200.5	
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)						12	
Teneur en eau moyenne W %						12		
Poids d'eau à ajouter	Energie				10 coups	25 coups	55 coups	
	$\Delta W = W_{opt} - W_1$						10.4	
	Poids humide de l'échant. Ph						5500	
	Poids d'eau ajoutée Pe - Ps x W						4909.8	
	Poids sec P - Ph : (1 + W)						515 cm	
Teneurs en eau de compactage	Numero de la tare						2a	
	Poids de la tare (1)						32	
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)						353.5	
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)						294	
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)						59.5	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)						262	
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)						22.7	
	Teneur en eau moyenne W %						22.7	
Teneurs en eau après imbibition	Numero de la tare						cx	
	Poids de la tare (1)						33	
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)						274	
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)						228	
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)						46	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)						195	
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)						23.6	
	Teneur en eau moyenne W %						23.6	
Caractéristiques pondérales	N du moule / hauteur h						7/124	
	Poids du moule (7)						3379	
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)						7670	
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) (9)						4498	
	Volume f = V (1 + $\frac{\Delta h}{h}$) (10)						2249.1	
	Poids volumiques humide (9) : (10) (11)						20	
	Teneur en eau moyenne W %						23.6	
	Poids volumique sec						18	
Mesure de gonflement								
Date	10 coups	25 coups	55 coups	Date	10 coups	25 coups	55 coups	
Gonflement absolu Δh : 0.10 mm				Gonflement relatif : $(\Delta h/h) \times 100$ 0.06 %				

C.B.R. Poinçonnements a 96 h						Ref. Sondage : _____							
Anneau : 30kN				Opérateur : _____				Date : _____					
Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT					
	10 coups		25 coups		55 coups			10 coups		25 coups		55 coups	
	Lecture anneau	Force kg	Lecture anneau	Force kg	Lecture anneau	Force kg		Lecture anneau	Force kg	Lecture anneau	Force kg	Lecture anneau	Force kg
0.20			4.5			3.50			24				
0.40			7			4.00			25.5				
0.60			9			4.50			27.5				
0.80			10			5.00			29	580			
1.00			12			5.50			29				
1.25			13.5			6.00			29				
1.50			15.5			6.50			29.5				
2.00			17.5			7.00			30				
2.50			19.5	390		7.50			33				
3.00			21										

COURBE DE POINÇONNEMENT



Calcul de l'indice portant

F en kilogrammes	10 coups	25 coups	55 coups
$a = 25 \text{ mm} \frac{F(25)}{135} \times 100$		29	
$a = 5 \text{ mm} \frac{F(5)}{2025} \times 100$		29	

ECHANTILLON 2 + SABLE $\frac{1}{4}$ + TERRASIL +
ZYCOBOND 35 cm³



S-10

ESSAI PROCTOR

NORME :

MODIFIE :

UNITES DE MESURE
UTILISEES

Gramme (g)
Centimetre cube (cm³)
KiloNewton par metre cube (kN / m³)

Dossier n° :

Reception n° :

Chantier		Sondage		Profondeur		Operateur		Date					
MOULE C.B.R.		Nature du materiel				Poids total							
		Teneur en eau naturelle (W)				Poids retenu a 20 mm module AFNOR N° 44 :							
						% refus							
POINT N°		1		2		3		4		5		6	
TENEURS EN EAU	Tare (1)	J4		AA		R							
	Poids de la tare (1)	32		33		31							
	Poids materiel humide + tare (2)	284		293		274							
	Poids materiel sec + tare (3)	249		250		227							
	Poids d'eau (4) = (2) - (3)	35		43		47							
	Poids materiel sec (5) = (3) - (1)	217		217		196							
	Teneur en eau (W) = (4) / (5)	16.1		19.8		24							
Teneur en eau moyen W (6)		16.1%		19.8%		24%							
POIDS VOLUMIQUES	Poids d'eau ajoutee												
	N° Moule	P2		-		-							
	Poids du moule (7)	3509		-		-							
	Poids materiel humide + moule (8)	7849		8278		8094							
	Poids materiel humide (9) = (8) - (7)	4340		4769		4585							
	Volume du moule (10)	2248.7		-		-							
	Poids volumique humide (11) = (9) / (10)	19.30		19.63		19.32							
Poids volumique sec (12) = $\frac{100 \times (11)}{100 + (6)}$	16.62		17.70		16.45								



ESSAI PROCTER

S - 10

NORMAL

MODIFIÉ

MOULE C B R

CHANTIER _____

SONDAGE _____

PROFONDEUR _____

NATURE _____

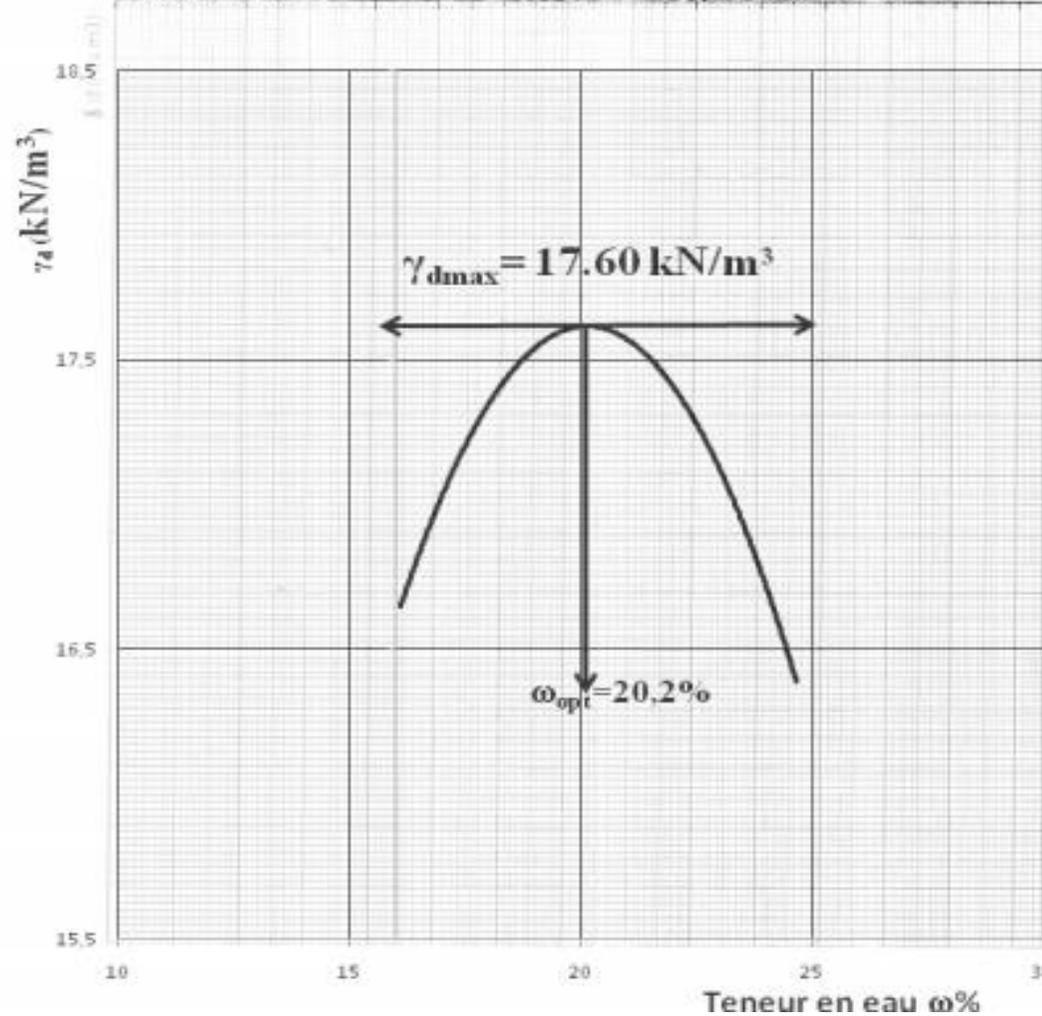
Refus
à 20 mm = % δd opt
corrigé
KN/m³W opt
corrigé
%

DOSSIER N° _____

RÉCEPTION N° _____

GRAPHIQUE N° _____

ANNEXE N° _____



Point	1	2	3	4	5
w %	16.1	19.8	24		
δd	16.62	17.7	16.45		
δd opt :	17.6		KN/m ³	W opt : 20.2	



C.B.R. (S - 11) (INDICE PORTANT C.B.R.)

E2+1/45+ TR+ ZB

Réception n° _____

Réf. Sondage : _____

Opérateur : _____

Date : _____

RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR MODIFIE

γ_d opt = **17.6** KN/m³ W opt. = **20.2%**

Essais à 0 heure d'imbibition

Numéro des échantillons		2+1/4+TR+35%ZB	
Teneurs en eau Avant compactage	Numéro de la tare		s27
	Poids de la tare (1)		31.5
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)		412
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)		366.5
	Poids d'eau (2) - (3) (4)		45.5
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)		335
	Teneur en eau (4) : (5) (6)		13.6
	Teneur en eau moyenne w %		13.6
Poids d'eau à ajouter	Energie		25 coups
	Δw = w opt. - w _i		7
	Poids humide de l'échant. P _h		5500
	Poids sec P _s = P _h / (1 + w _i)		4842.31
Poids d'eau ajoutée P _e = P _s x Δw		320cm ³	
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare		P
	Poids de la tare (1)		33
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)		265
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)		225
	Poids d'eau (2) - (3) (4)		39.5
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)		192.5
	Teneur en eau (4) : (5) (6)		20.5
Teneur en eau moyenne w %		20.5%	
Caractéristiques pondérales des moulages	N° du moule		2
	Poids du moule (7)		3340
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)		7880
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) = (9)		4540
	Volume du moule (10)		2253
	Poids volumique humide (9) : (10) (11)		20.15
	Teneur en eau moyenne w %		20.5
	Poids volumique sec $\frac{100 \times (11)}{100 - w}$ (12)		16.72
Indice de compacité % I.C. = (12) / γ _d opt			95%

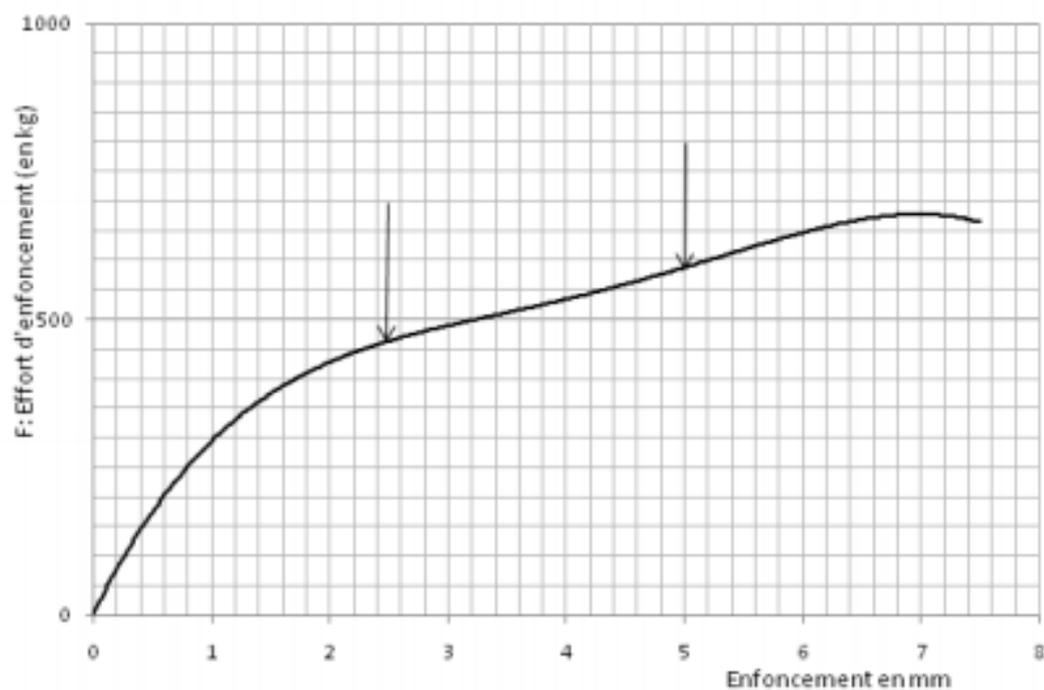
Essais après 96 heures d'imbibition

E2+1/4S+TR+35CC ZB

Teneurs en eau avant compactage	Numéro des échantillons						
	Numéro de la tare				s27		
	Poids de la tare (1)				31.5		
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)				412		
	Poids total (tare - échantillon sec) (3)				366.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				45.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				335		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				13.6		
	Teneur en eau moyenne W %				13.6		
Poids d'eau à ajouter	Energie		10 coups	25 coups	55 coups		
	$\Delta W = W_{opt} - W_1$				6.6		
	Poids humide de l'échant. Ph				5500		
	Poids d'eau ajoutée Pe = Ps x W				4842.3		
	Poids sec P = Ph / (1 + W)				320cm ³		
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare				P		
	Poids de la tare (1)				33		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				265		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				225.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				39.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				192.5		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				20.5		
	Teneur en eau moyenne W %				20.5		
Teneurs en eau après imbibition	Numéro de la tare				A4		
	Poids de la tare (1)				33		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				298		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				251		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				47		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				218		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				21.6		
	Teneur en eau moyenne W %				21.6		
Caractéristiques pondérales	N du moule / hauteur h				2/122.9		
	Poids du moule (7)				3340		
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)				7838		
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) (9)				4498		
	Volume $V = V_1 (1 + \frac{\Delta h}{h})$ (10)				2258.3		
	Poids volumiques humide (9) : (10) (11)				19.92		
	Teneur en eau moyenne W % ()				21.6		
	Poids volumique sec				16.38		
Mesure de gonflement							
Date	10 coups	25 coups	55 coups	Date	10 coups	25 coups	55 coups
Gonflement absolu Δh : <u>0.05</u> mm				Gonflement relatif : $(\Delta h/h) \times 100$: <u>0.02</u>			

C.B.R. Poinçonnements à 96 h						Réf. Sondage : _____							
Anneau : 30kN				Opérateur : _____				Date : _____					
Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT					
	10 coups		25 coups		55 coups			10 coups		25 coups		55 coups	
	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	
0.20			4				3.50			25.5			
0.40			7				4.00			26.5			
0.60			11				4.50			28			
0.80			13				5.00			31	620		
1.00			15				5.50			31			
1.25			17				6.00			32			
1.50			18				6.50			32			
2.00			21				7.00			33			
2.50			23	460			7.50			34			
3.00			24										

COURBE DE POINÇONNEMENT



Calcul de l'indice portant

F en kilogrammes	10 coups	25 coups	55 coups
$F(25) \times 100$ à 25 mm $\frac{25.5}{1351}$		34	
$F(5) \times 100$ à 5 mm $\frac{31}{2025}$		31	

ECHANTILLON 2 + SABLE 1/3



ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE (Sols)

BOURSE N°

RECEPTION N°

CHANTIER

OPERATEUR

DATE

MODULE AENOR (M 0)	OVERTURE TAMS EN MM	SÉRIATION N°			SÉRIATION N°			SÉRIATION N°		
		REPLI CUMULE Σ	% REPLI CUMULE	% TAMISATS CUMULE	REPLI CUMULE Σ	% REPLI CUMULE	% TAMISATS CUMULE	REPLI CUMULE Σ	% REPLI CUMULE	% TAMISATS CUMULE
50	80,0									
49	63,0									
48	50,0									
47	40,0									
46	31,5									
44	20,0									
42	12,5									
40	8,0									
38	5,00									
37	4,00									
34	2,00				18	2	98			
31	1,00				50	7	93			
26	0,315				208	28	72			
24	0,200				287	39	61			
20	0,08				396	54	46			
Rn + Tn					397					
Rn + Tn MS1					100					
Observations										

2+1/3 SABLE

735

397

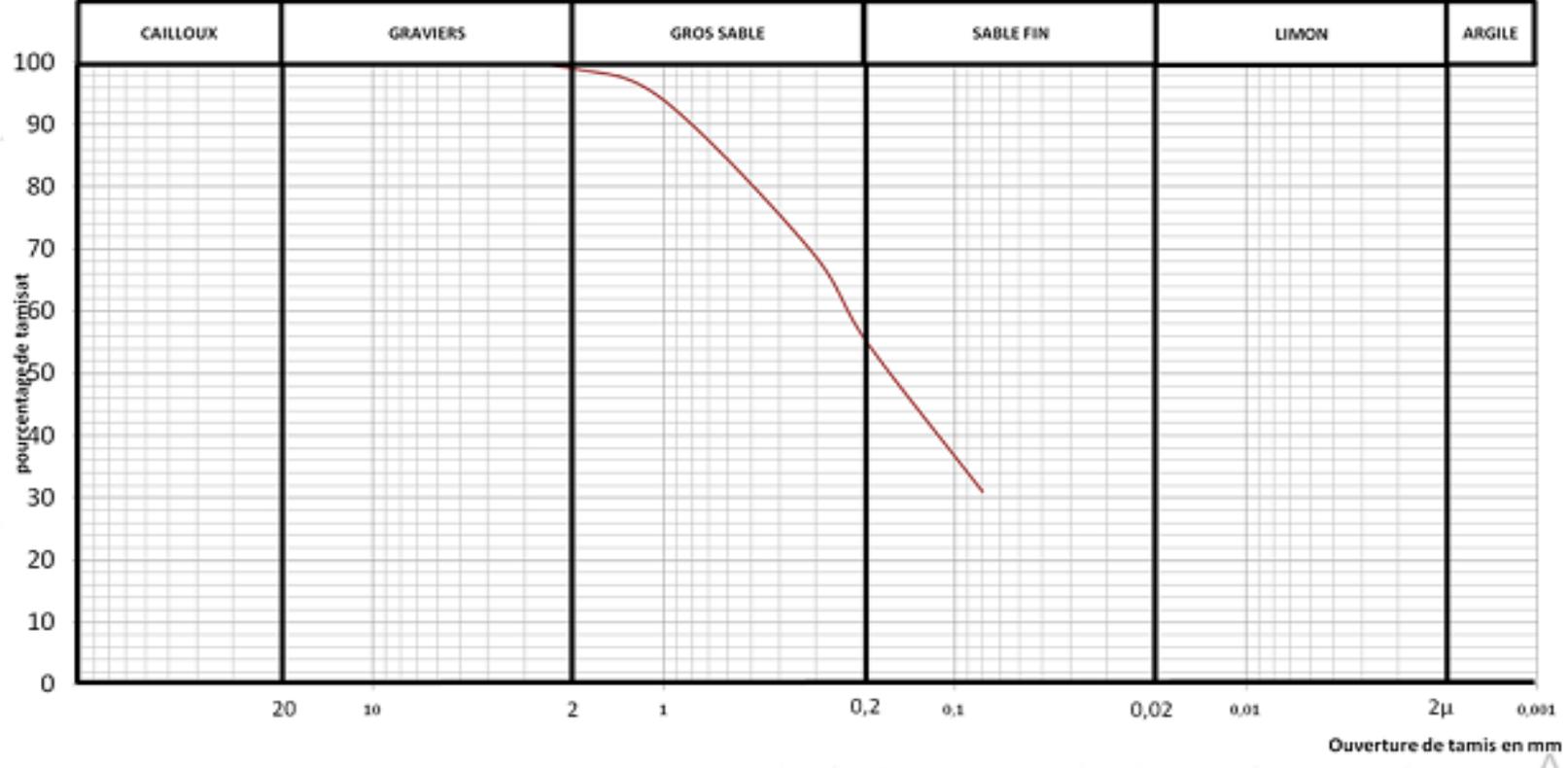


ANALYSE GRANULOMETRIQUE DE SOLS

Représentation graphique	N° Echant.	Profondeur de prélèvement, en (m)	Nature	Limbs Atterberg			E.S.	Classification		
				WL	WP	IP		HRB	LCP	GTR

Dossier n°
 Réception n°
 Graphique n°
 Annexe :

CHANTIER :





LIMITES D'ATTERBERG S.04

$$W_L - W_p = I_p$$

DOSSIER 2

RECEPTION

GRAPHIQUE

ANNEXE :

CHANTIER :	Sondage :	Profondeur :
Date :	Opérateur :	

1) LIMITE DE LIQUIDE WL

Nombre de coups : N	18		24		30	
Tare N°	102	16	180	167	15	43
Poids tare (1)	14.67	15.82	16.31	15.66	15.40	15.64
Poids total humide (2)	21.45	23.10	21.7	23.4	21.6	24.30
Poids total sec (3)	19.04	20.52	19.81	20.68	19.45	21.30
Poids d'eau (4) = 2 - 3	2.41	2.58	1.89	2.72	2.15	3
Poids maternels sec (5) = (3) - (1)	4.37	4.7	3.50	5.02	4.05	5.66
Teneur en eau W% (4) / (5)	55.15	54.89	54	54.18	53.09	53
Teneur en eau moyenne W%	55.02		54.09		53.04	



2) LIMITE DE PLASTICITE Wp		3) RESULTATS	
Tare N°	56	32	LIMITE DE LIQUIDITE (WL) : 53.9%
Poids tare (1)	15.9	13.26	
Poids total humide (2)	17.8	16.03	LIMITE DE PLASTICITE (Wp) : 42.8
Poids total sec (3)	17.23	15.39	
Poids d'eau (4) = 2 - 3	0.57	0.91	INDICE DE PLASTICITE (Ip) : 11.1 (Ip = WL - Wp)
Poids maternels sec (5) = (3) - (1)	1.33	2.13	
Teneur en eau W% (4) / (5)	42.86	42.12	
Teneur en eau moyenne W%	42.79		

ECHANTILLON 2 + SABLE 1/3 + TERRASIL +
ZYCOBOND 25 cm³



S-10

ESSAI PROCTOR

NORMAL :

MODIFIE :

UNITES DE MESURE
UTILISEESGramme (g)
Centimètre cube (cm³)
KiloNewton par mètre cube (KN / m³)

Dossier n° : 2

Reception n° :

Chantier :		Sondage		Profondeur		Operateur :		Date					
MOULE C.B.R.		Nature du matériau				Teneur en eau naturelle (W) :							
		Poids total				Poids refus à 20 mm module AFNOR N° 44 :							
		% refus											
POINT N°		1		2		3		4		5		6	
TENEURS EN EAU	Tare n°	J'		o		A'							
	Poids de la tare (1)	32		25		32							
	Poids matériau humide + tare (2)	219		232		247							
	Poids matériau sec + tare (3)	191		195		213							
	Poids d'eau (4) = (2) - (3)	28		37		34							
	Poids matériau sec (5) = (3) - (1)	159		170		181							
Teneur en eau (W) = (4) / (5)		18		21.8		18.8							
Teneur en eau moyen W (6)		18%		21.8%		18.8%							
POIDS VOLUMIQUES	Poids d'eau ajoutée												
	N° Moule	P2		.		.							
	Poids du moule (7)	3509		.		.							
	Poids matériau humide + moule (8)	7501		7979		7716							
	Poids matériau humide (9) = (8) - (7)	3992		4470		4207							
	Volume du moule (10)	2248.7		.		.							
	Poids volumique humide (11) = (9) / (10)	17.75		19.88		18.71							
Poids volumique sec (12) = $\frac{100 \times (11)}{100 + (6)}$	15.09		16.33		15.75								

Active
Accède



C.B.R. (S - 11) (INDICE PORTANT C.B.R.)

chantier: _____

Révision n° _____

Ref. Sondage: _____

Opérateur: _____

Date: _____

RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR MODIFIE

γ_{d opt} = **16.38** KN/m³ W_{opt} = **21.4** %

Essais à 0 heure d'imbibition

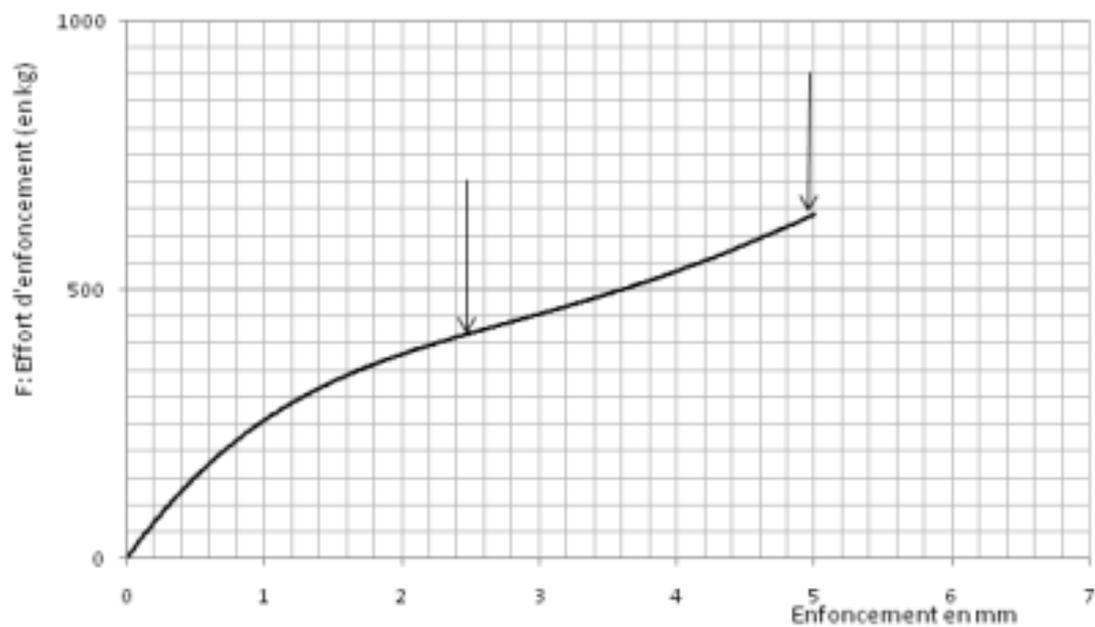
Numéro des échantillons					
Teneurs en eau Avant compactage	Numéro de la tare			26	
	Poids de la tare	(1)		31	
	Poids total humide (tare – échantillon)	(2)		255.5	
	Poids total (tare + échantillon sec)	(3)		231.5	
	Poids d'eau (2) - (3)	(4)		24	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1)	(5)		200.5	
	Teneur en eau (4) : (5)	(6)		12	
	Teneur en eau moyenne w % i				12
Poids d'eau à ajouter	Energie			25 coups	
	Δw = w _{opt} - w _i			9.4	
	Poids humide de l'échant. P _h			5500	
	Poids sec P _s = P _h / (1 + w _i)			4912.03	
	Poids d'eau ajoutée P _e = P _s x Δw			465cm ³	
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare			17	
	Poids de la tare	(1)		32.5	
	Poids total humide (tare – échantillon)	(2)		166.5	
	Poids total (tare + échantillon sec)	(3)		141.5	
	Poids d'eau (2) - (3)	(4)		25	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1)	(5)		109	
	Teneur en eau (4) : (5)			22.9	
	Teneur en eau moyenne w %				22.9%
Caractéristiques pondérales des moutages	N° du moule			16	
	Poids du moule	(7)		3313	
	Poids total humide (moule + échantillon)	(8)		7685	
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) =	(9)		4372	
	Volume du moule	(10)		2230.8	
	Poids volumique humide (9) : (10)	(11)		19.60	
	Teneur en eau moyenne w %				22.9
	Poids volumique sec $\frac{100 \times \rho_h}{100 + w}$		(12)		15.94
Indice de compacité % I _C = (12) / γ _{d opt}				97	

Essais après 96 heures d'imbibition

Teneurs en eau avant compactage	Numero des échantillons						
	Numero de la tare				J26		
	Poids de la tare (1)				31		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				255.5		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				231.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				24		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				200.5		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				12		
Teneur en eau moyenne W %				12			
Poids d'eau à ajouter	Energie		10 coups	25 coups	55 coups		
	$\Delta W = W_{opt} - W_1$			9.4			
	Poids humide de l'échant. Ph				5500		
	Poids d'eau ajoutée Pe - Ps x W				4912		
	Poids sec P - Ph / (1 + W)				465 cm ³		
Teneurs en eau de compactage	Numero de la tare				T7		
	Poids de la tare (1)				32.5		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				166.5		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				141.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				25		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				109		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				22.9		
	Teneur en eau moyenne W %				22.9		
Teneurs en eau après imbibition	Numero de la tare				J1		
	Poids de la tare (1)				32		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				287		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				239		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				48		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				207		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				23.2		
	Teneur en eau moyenne W %				23.2		
Caractéristiques pondérales	N du moule / hauteur h				16/123		
	Poids du moule (7)				3313		
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)				7656		
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) (9)				4343		
	Volume f = V (1 + $\frac{\Delta h}{h}$) (10)				2233.3		
	Poids volumiques humide (9) : (10) (11)				19.45		
	Teneur en eau moyenne W % ()				23.2		
	Poids volumique sec				15.79		
Mesure de gonflement							
Date	10 coups	25 coups	55 coups	Date	10 coups	25 coups	55 coups
Gonflement absolu Δh : 0.14 mm				Gonflement relatif : $(\Delta h/h) \times 100$: 0.11 %			

C.B.R. Poinçonnements a <u>96</u> h						Réf. Sondage : _____							
Anneau : <u>30kN</u>						Opérateur : _____							
Date : _____													
Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT					
	10 coups		25 coups		55 coups			10 coups		25 coups		55 coups	
	lecture anneau	Force (kg)	lecture anneau	Force (kg)	lecture anneau	Force (kg)		lecture anneau	Force (kg)	lecture anneau	Force (kg)	lecture anneau	Force (kg)
0.20			4.5			3.50			24				
0.40			7			4.00			27.5				
0.60			9			4.50			29				
0.80			10.5			5.00			32	640			
1.00			12			5.50							
1.25			13.5			6.00							
1.50			17.5			6.50							
2.00			19			7.00							
2.50			21.5	430		7.50							
3.00			22										

COURBE DE POINÇONNEMENT



Calcul de l'indice portant

F en kilogrammes	10 coups	25 coups	55 coups
$F(25) \times 100$ à 25 mm $\frac{1351}{20285}$		32	
$F(5) \times 100$ à 5 mm $\frac{20285}{20285}$		32	

ECHANTILLON 2 + SABLE 1/3 + TERRASIL +
ZYCOBOND 30 cm³



S-10

ESSAI PROCTOR

NORMAL :

MODIFIE :

UNITES DE MESURE
UTILISEESGramme (g)
Centimètre cube (cm³)
KiloNewton par mètre cube (kN / m³)

Dossier n° : 2

Reception n° :

Chantier :		Sondage		Profondeur		Operateur :		Date					
MOULE C.B.R.		Nature du matériau :				Poids total :							
		Teneur en eau naturelle (W) :				Poids refus à 20 mm module AFNOR N° 44 :							
		% refus :											
POINT N°		1		2		3		4		5		6	
TENEURS EN EAU	Tare n	s		t		k							
	Poids de la tare (1)	32		48		35							
	Poids matériau humide + tare (2)	270		202		298							
	Poids matériau sec + tare (3)	230		174		246.5							
	Poids d'eau (4) = (2) - (3)	40		28.5		51.5							
	Poids matériau sec (5) = (3) - (1)	198		126		211.5							
teneur en eau (W) = (4) / (5)		20		22.7		24.3							
Teneur en eau moyen W (6)		20%		22.7%		24.3%							
POIDS VOLUMIQUES	Poids d'eau ajoutée												
	N° Moule	P2		.		.							
	Poids du moule (7)	3509		.		.							
	Poids matériau humide + moule (8)	7476		8173		7629							
	Poids matériau humide (9) = (8) - (7)	3967		4664		4120							
	Volume du moule (10)	2248.7		.		.							
	Poids volumique humide (11) = (9) / (10)	17.64		20.74		18.32							
Poids volumique sec (12) = $\frac{100 \times (11)}{100 + (6)}$	14.68		16.9		14.73								

Active
Accéder



ESSAI PROCTOR
S - 10

NORMAL MODIFIÉ

MOULE C B R

CHANTIER _____

SONDAGE _____

PROFONDEUR _____

NATURE _____

Refus
à 20 mm = _____ %

γ_d opt
corrigé
KN/m³

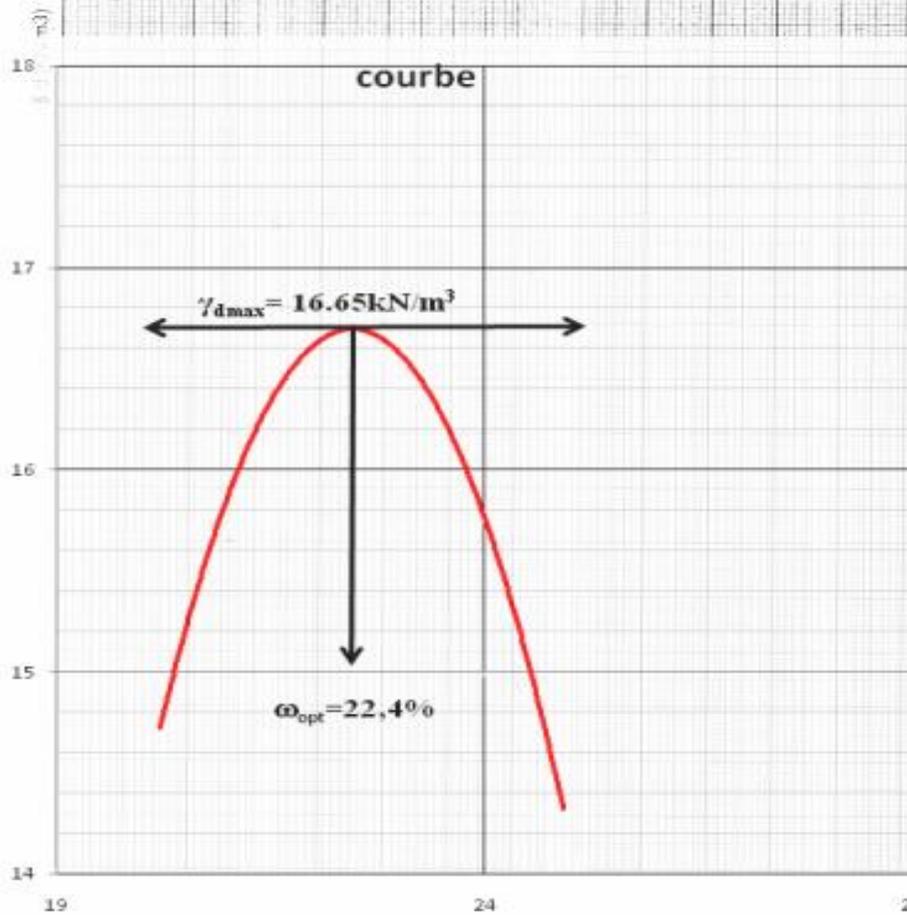
W opt
corrigé
%

DOSSIER N° _____

RÉCEPTION N° _____

GRAPHIQUE N° _____

ANNEXE N° _____



Point	1	2	3	4	5
w %	20	22.7	24.3		
γ_d	14.68	16.9	14.73		
γ_d opt :	16.65 KN/m ³		W opt : 22.4		

Teneur en eau %



C.B.R. (S - 11) (INDICE PORTANT C.B.R.)

Réaction n° _____

Activer W
Accéder au

Réf. Sondage : _____

Opérateur : _____

Date : _____

RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR MODIFIE

$\gamma_d \text{ opt} =$ **16.65** KN/m³

$W \text{ opt.} =$ **22.4%**

Essais à 0 heure d'imbibition

Numéros des échantillons						
Teneurs en eau Avant compactage	Numéro de la tare			126		
	Poids de la tare (1)			31		
	Poids total humide (tare – échantillon) (2)			255.5		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)			231.5		
	Poids d'eau (2) - (3) (4)			24		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)			200.5		
	Teneur en eau (4) : (5) (6)			12		
	Teneur en eau moyenne w % i			12		
Poids d'eau à ajouter	Energie			25 coups		
	$\Delta w = w \text{ opt.} - w_i$			10		
	Poids humide de l'échant. P h			5500		
	Poids sec P _s = P h / (1 + w _i)			4909		
	Poids d'eau ajoutée P _e = P _s x Δw			510 cm³		
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare			2a		
	Poids de la tare (1)			32		
	Poids total humide (tare – échantillon) (2)			353.5		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)			294		
	Poids d'eau (2) - (3) (4)			59.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)			262		
	Teneur en eau (4) : (5) (6)			22.7		
	Teneur en eau moyenne w %			22.7%		
Caractéristiques pondérales des moulages	N° du moule			7		
	Poids du moule (7)			3379		
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)			7742		
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) = (9)			4363		
	Volume du moule (10)			2248.9		
	Poids volumique humide (9) : (10) (11)			19.40		
	Teneur en eau moyenne w %			22.7		
	Poids volumique sec $\frac{100 \times P_s}{100 - w}$ (12)			15.81		
Indice de compacité % I.C. = (12) / $\gamma_d \text{ opt}$			95%			

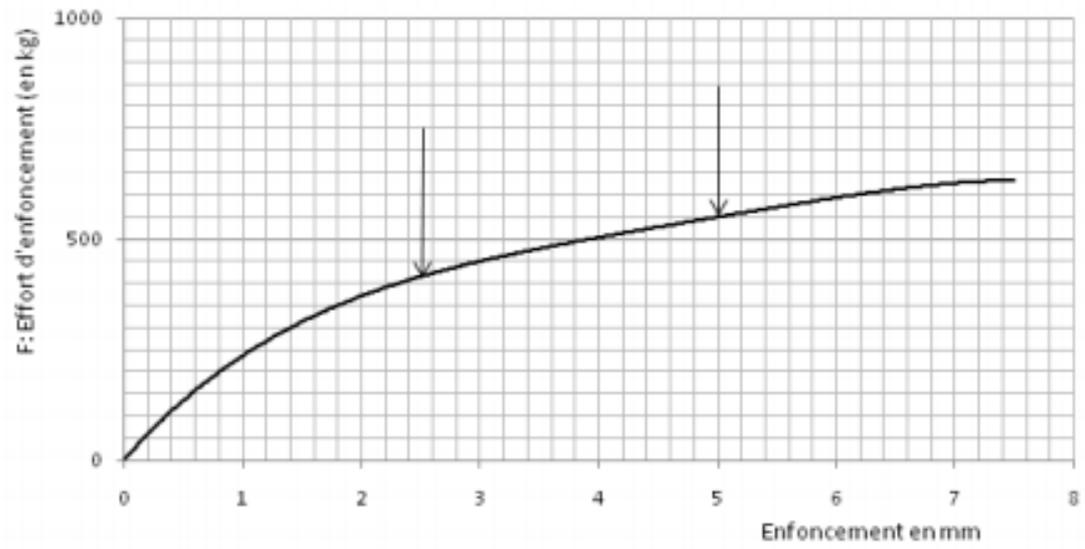
Essais après 96 heures d'imbibition

Activer

Teneurs en eau avant compactage	Numéro des échantillons						
	Numéro de la tare				J26		
	Poids de la tare (1)				31		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				255.5		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				231.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				24		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				200.5		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				12		
Teneur en eau moyenne W % i				12			
Poids d'eau à ajouter	Energie		10 coups	25 coups	55 coups		
	$\Delta W = W_{opt} - W_1$			10.4			
	Poids humide de l'échant. Ph				5500		
	Poids d'eau ajoutée Pe - Ps x W				4909.8		
	Poids sec P - Ph : (1 + Wi)				515 cm ³		
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare				2a		
	Poids de la tare (1)				32		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				353.5		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				294		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				59.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				262		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				22.7		
	Teneur en eau moyenne W %				22.7		
Teneurs en eau après imbibition	Numéro de la tare				i		
	Poids de la tare (1)				32		
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)				246		
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)				205.5		
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)				40.5		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) (5)				173.5		
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)				23.3		
	Teneur en eau moyenne W %				23.3		
Caractéristiques pondérales	N du moule l hauteur h				7/124		
	Poids du moule (7)				3379		
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)				7670		
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) (9)				4498		
	Volume $V = V_1 + \Delta h$ (10)				2249.1		
	Poids volumique humide (9) : (10) (11)				19.99		
	Teneur en eau moyenne W % ()				23.3		
	Poids volumique sec				16.21		
Mesure de gonflement							
Date	10 coups	25 coups	55 coups	Date	10 coups	25 coups	55 coups
Gonflement absolu Δh : 0.05 mm				Gonflement relatif : $(\Delta h/h) \times 100$ 0.04			

C.B.R. Poinçonnements à <u>96</u> h						Réf. Sondage : _____								
Anneau <u>30kN</u>				Opérateur : _____				Date : _____						
Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						
	10 coups		25 coups		55 coups			10 coups		25 coups		55 coups		
	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)		Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	
0.20			4				3.50		25.5					
0.40			7				4.00		26.5					
0.60			11				4.50		28					
0.80			13				5.00		29	580				
1.00			15				5.50		30					
1.25			17				6.00		32					
1.50			18				6.50							
2.00			21				7.00							
2.50			23	460			7.50							
3.00			24											

COURBE DE POINCONNEMENT



Calcul de l'indice portant

F en kilogrammes	10 coups	25 coups	55 coups
$F(25) \text{ à } 25 \text{ mm} \frac{\quad}{1351} \times 100$		34	
$F(5) \text{ à } 5 \text{ mm} \frac{\quad}{20255} \times 100$		31	

ECHANTILLON 2 + SABLE 1/3 + TERRASIL +
ZYCOBOND 35 cm³



S-10

ESSAI PROCTOR

NORMAL :

MODIFIÉ :

UNITES DE MESURE UTILISEES

Gramme (g)
Centimètre cube (cm³)
KiloNewton par mètre cube (kN / m³)

Dossier n° : **2**

Reception n° :

Chantier		Sondage		Profondeur		Opérateur		Date					
MOULE C.E.R.		Nature du matériau				Teneur en eau naturelle (W)							
POINT N°		1		2		3		4		5		6	
TENEURS EN EAU	Tare (1)	Q		11		R							
	Poids de la tare (1)	32		33		31							
	Poids matériau humide + tare (2)	284		293		274							
	Poids matériau sec + tare (3)	241		245		225							
	Poids d'eau (4) = (2) - (3)	43		48		49							
	Poids matériau sec (5) = (3) - (1)	209		212		194							
Teneur en eau (W) = (4) / (5)		20.6		22.6		25.3							
Teneur en eau moyen W (6)		20.6%		22.6%		25.3%							
POIDS VOLUMIQUES	Poids d'eau ajoutée												
	N° Moule	P2		-		-							
	Poids du moule (7)	3509		-		-							
	Poids matériau humide + moule (8)	7849		8402		8094							
	Poids matériau humide (9) = (8) - (7)	4340		4893		4585							
	Volume du moule (10)	2248.7		-		-							
	Poids volumique humide (11) = (9) / (10)	19.30		21.76		20.39							
Poids volumique sec (12) = $\frac{100 \times (11)}{100 + (6)}$	16.01		17.70		16.28								



C.B.R. (S - 11) (INDICE PORTANT C.B.R.)

Chemin : _____

Réaction n° _____

Réf. Sondage : _____

Opérateur : _____

Date : _____

RESULTATS DE L'ESSAI PROCTOR MODIFIE

$\gamma_d \text{ opt} =$ 17.7 KN/m³

$W \text{ opt} =$ 23.2%

Essais à 0 heure d'imbibition

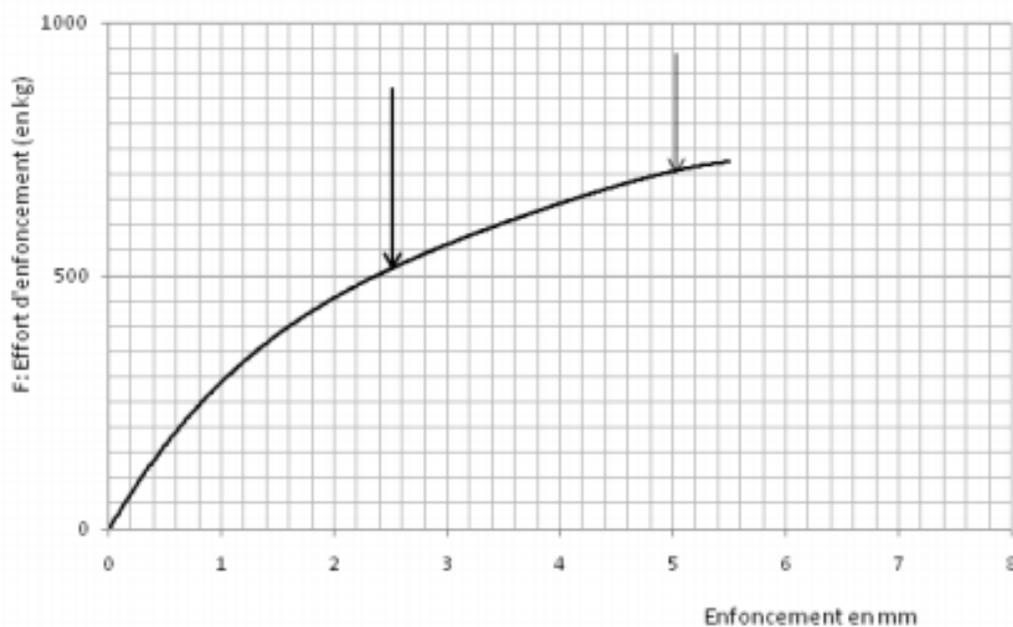
Numéro des échantillons						
Teneurs en eau Avant compactage	Numéro de la tare			<u>27</u>		
	Poids de la tare	(1)		<u>31.5</u>		
	Poids total humide (tare – échantillon)	(2)		<u>412</u>		
	Poids total (tare + échantillon sec)	(3)		<u>366.5</u>		
	Poids d'eau (2) - (3)	(4)		<u>45.5</u>		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1)	(5)		<u>335</u>		
	Teneur en eau (4) : (5)	(6)		<u>13.6</u>		
	Teneur en eau moyenne w % :			<u>13.6</u>		
Poids d'eau à ajouter	Energie			<u>25 coups</u>		
	$\Delta w = w \text{ opt.} - w_i$			<u>9</u>		
	Poids humide de l'échant. P h			<u>5500</u>		
	Poids sec P _s = P h / (1 + w _i)			<u>4842.31</u>		
	Poids d'eau ajoutée P _e = P _s x Δw			<u>455 cm³</u>		
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare			<u>P</u>		
	Poids de la tare	(1)		<u>33</u>		
	Poids total humide (tare – échantillon)	(2)		<u>265</u>		
	Poids total (tare + échantillon sec)	(3)		<u>225</u>		
	Poids d'eau (2) - (3)	(4)		<u>39.5</u>		
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1)	(5)		<u>192.5</u>		
	Teneur en eau (4) : (5)			<u>20.5</u>		
	Teneur en eau moyenne w %			<u>20.5%</u>		
Caractéristiques pondérales des moulages	N° du moule			<u>1</u>		
	Poids du moule	(7)		<u>3337</u>		
	Poids total humide (moule + échantillon)	(8)		<u>7904</u>		
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) =	(9)		<u>4564</u>		
	Volume du moule	(10)		<u>2245.3</u>		
	Poids volumique humide (9) : (10)	(11)		<u>20.33</u>		
	Teneur en eau moyenne w %			<u>20.5</u>		
	Poids volumique sec $\frac{100 \times 20.33}{100 - 20.5}$	(12)		<u>16.87</u>		
Indice de compacité % I.C. = (12) / $\gamma_d \text{ opt}$			<u>95.3%</u>			

Essais après 96 heures d'imbibition

Essais après 96 heures d'imbibition								
Teneurs en eau avant compactage	Numéro des échantillons							
	Numéro de la tare						s27	
	Poids de la tare (1)						31.5	
	Poids total humide (tare - échantillon) (2)						412	
	Poids total (tare - échantillon sec) (3)						366.5	
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)						45.5	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1) = (5)						335	
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)						13.6	
Teneur en eau moyenne W % :						13.6		
Poids d'eau à ajouter	Energie		10 coups		25 coups		55 coups	
	$\Delta W = W_{opt} - W_1$				9.4			
	Poids humide de l'échant. Ph				5500			
	Poids d'eau ajoutée Pe - Ps x W				4842.3			
	Poids sec P - Ph : (1 + Wi)				455 cm ³			
Teneurs en eau de compactage	Numéro de la tare						P	
	Poids de la tare (1)						33	
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)						265	
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)						225.5	
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)						39.5	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1)						192.5	
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)						20.5	
	Teneur en eau moyenne W % :						20.5	
Teneurs en eau après imbibition	Numéro de la tare						A4	
	Poids de la tare (1)						33	
	Poids total humide (tare + échantillon) (2)						298	
	Poids total (tare + échantillon sec) (3)						247	
	Poids d'eau (2) - (3) = (4)						51	
	Poids de l'échantillon sec (3) - (1)						214	
	Teneur en eau (4) : (5) = (6)						23.8	
	Teneur en eau moyenne W % :						23.8	
Caractéristiques pondérales	N du moule / hauteur h						1/122.9	
	Poids du moule (7)						3337	
	Poids total humide (moule + échantillon) (8)						7989	
	Poids humide de l'échantillon (8) - (7) (9)						4652	
	Volume f = Vi (1 + $\frac{\Delta h}{h}$) (10)						2245.7	
	Poids volumiques humide (9) : (10) (11)						20.72	
	Teneur en eau moyenne W % ()						23.8	
	Poids volumique sec						16.73	
Mesure de gonflement								
Date	10 coups	25 coups	55 coups	Date	10 coups	25 coups	55 coups	
Gonflement absolu Δh : 0.02 mm				Gonflement relatif : $(\Delta h/h) \times 100$: 0.02				

C.B.R. Poinçonnements à 96 h						Réf. Sondage : _____							
Anneau : 30kN						Opérateur : _____							
Date : _____													
Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT						Enfoncements en mm	EFFORT D'ENFONCEMENT					
	10 coups		25 coups		55 coups			10 coups		25 coups		55 coups	
	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)		Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)	Lecture anneau	Force (kg)
0.20			3			3.50			30				
0.40			7			4.00			32				
0.60			9			4.50			34				
0.80			12			5.00			36	720			
1.00			14			5.50			720				
1.25			18			6.00							
1.50			20			6.50							
2.00			23			7.00							
2.50			25.5	510		7.50							
3.00			28										

COURBE DE POINÇONNEMENT



Calcul de l'indice portant			
F en kilogrammes	10 coups	25 coups	55 coups
$F(25) \frac{100}{1351} \times 100$		38	
$F(5) \frac{100}{20255} \times 100$		36	