

Etude de l'influence de la salinité de l'eau de compactage sur les caractéristiques géotechniques du sol routier.

Tiana Richard Randriamalala*(1), Nambinina Richard Randriana(2), Haritiana Jeannelle Rakotoniriana (2), Jean de Dieu Ramaroson (3), Frédéric Randrianarivelo(2), Rakotomalala Zolimboahangy(2).

(1) Laboratoire National des Travaux Publics et des Bâtiments, Département Recherche et Matériaux, B.P. 1151, Antananarivo 101.

(2) Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, BP 1500 Antananarivo 101

(3) Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, Département Matériaux et Génie Civil, BP 6294, Antananarivo 101.

*auteur correspondant, email : randriamalalantiana@yahoo.fr

Résumé

Cette étude nous a permis de déterminer l'impact de l'eau de mer de la côte Est de Madagascar ou de l'eau salée sur les travaux de terrassements des sols pris dans les régions Est et Nord-Ouest de Madagascar. Nous avons trouvé que la portance des sols diminue avec l'utilisation de sel dans l'eau de compactage. Le pourcentage de fine argileuse et son activité ont une grande influence sur le comportement mécanique du sol, surtout pour l'eau de mer ou eau salée de teneur en sel plus de 35g/l. Cette étude peut servir de base en matière de construction routière à Madagascar surtout dans les régions côtières et littorales du pays.

Mots clés : compactage, eau de mer, essai Proctor, essai indice portant CBR, indice de plasticité, essai au bleu de méthylène, limites d'Atterberg, routes, salinité, sol.

1. INTRODUCTION

La construction routière tient une place importante pour le développement d'un pays (Economie-Afrique, 2012). Des recherches et des expériences ont été menées dans différents pays pour trouver des techniques de conception, de mise en œuvre et de gestion en matière de construction routières (A.M.P.C., 2015). En général, parmi les différentes couches qui constituent les routes nationales, la couche de fondation (François D. et al., 2015), qui caractérise les terrassements routiers, joue un rôle important en ce qui concerne la portance du sol routier. Autrement dit, la construction routière dépend essentiellement des travaux de terrassement subissant des opérations de compactage. En Mauritanie (régions désertiques), les terrassements routiers sont construits par l'incorporation des sables de dunes compactés avec de l'eau naturelle (Gara S., (1994). Dans le Sud Marocain (zone Saharienne) et dans les régions désertiques similaires, les constructeurs de routes ont utilisé l'eau salée comme l'eau de compactage des matériaux généralement constitués des sables lors des travaux de terrassements (Aldereson A., Mectaf J.B., 1991). La difficulté d'accès à l'eau ne fait que rehausser le coût de la construction routière dans certaines régions de Madagascar surtout dans les régions côtières. En effet, les eaux douces et les eaux potables sont difficiles à trouver dans ces régions côtières tandis que l'eau de mer y est en abondance. L'objectif principal est d'étudier la possibilité d'utiliser l'eau de mer ou eau salée en tant qu'eau de compactage des matériaux de la couche de fondation des routes en zone côtière.

2. MATERIELS ET METHODES

Caractéristique du cadre de l'étude

Nous avons étudié l'effet de la salinité en utilisant de :

- L'eau salée à différentes teneurs comme eau de compactage des matériaux du sol de la région Nord-Ouest de Madagascar (Mahajanga).
- L'eau de mer comme eau de compactage des matériaux du sol de la région Est de Madagascar (Toamasina). L'eau de mer a été prise sur la côte Est de Madagascar, ces localités de l'étude sont placées sur la carte ci-après.

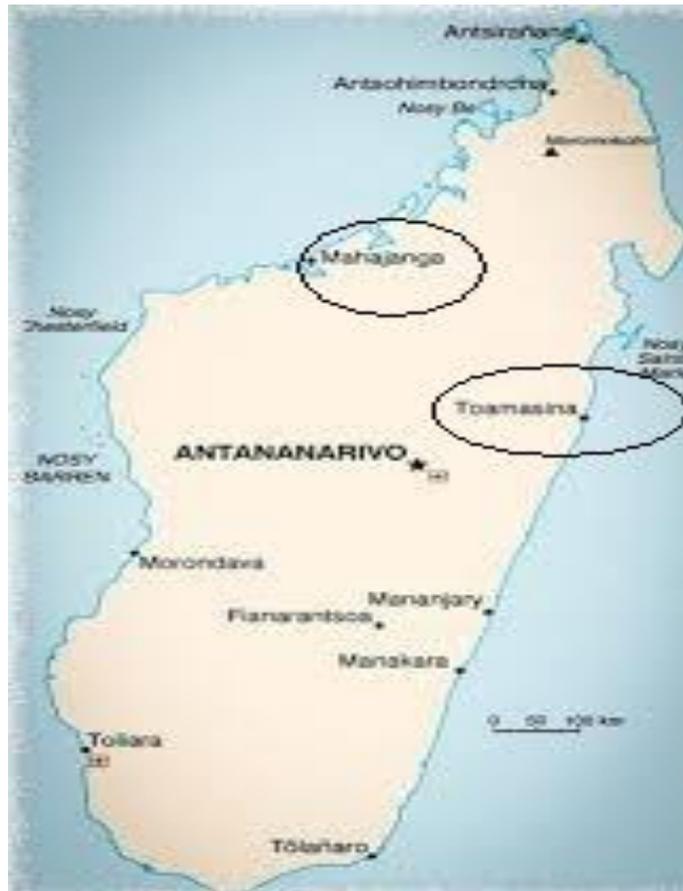


Figure 1 : localisation des sites d'étude

2.2. Identification des matériaux

L'eau saline est considérée comme le mélange de l'eau additionnée de sel de cuisine. Pour notre étude, l'eau salée a été préparée en introduisant progressivement du sel à des teneurs : 0g/L, 35g/L et 45 g/L dans l'eau de compactage. Le choix de ces teneurs se pose sur la connaissance de la teneur en sel de l'eau de mer qui se trouve en général entre 30 à 40 g/L. Nous avons considéré tout simplement la valeur 45g/L pour déterminer l'effet extrême de l'eau saline (Oceana Plasma, 2015).

2.2.2. Eau de mer

L'eau de mer contient, principalement des ions halogénures (ions chlorures), des ions alcalins (ions sodiums). On trouve 30 à 40 grammes de sels dissous pour un kilogramme d'eau de mer (Oceana Plasma, 2015). L'eau de mer utilisée pour le compactage du sol est prise sur la côte Est de Madagascar. Pour mesurer sa teneur en sel, nous l'avons évaporé dans une étuve de 105°C, ainsi nous avons trouvé que sa teneur en sel est environ 32g/L.

2.2.3. Le sol

Les types de sol utilisés pour effectuer cette étude sont ceux souvent utilisés comme sol d'emprunt et proche du chantier:

- Limon argilo- sableux de couleur rougeâtre (LAS rougeâtre)
- Limon sablo- argileux de couleur jaunâtre (LSA jaunâtre)
- Limon argileux de couleur marron (LA marron)

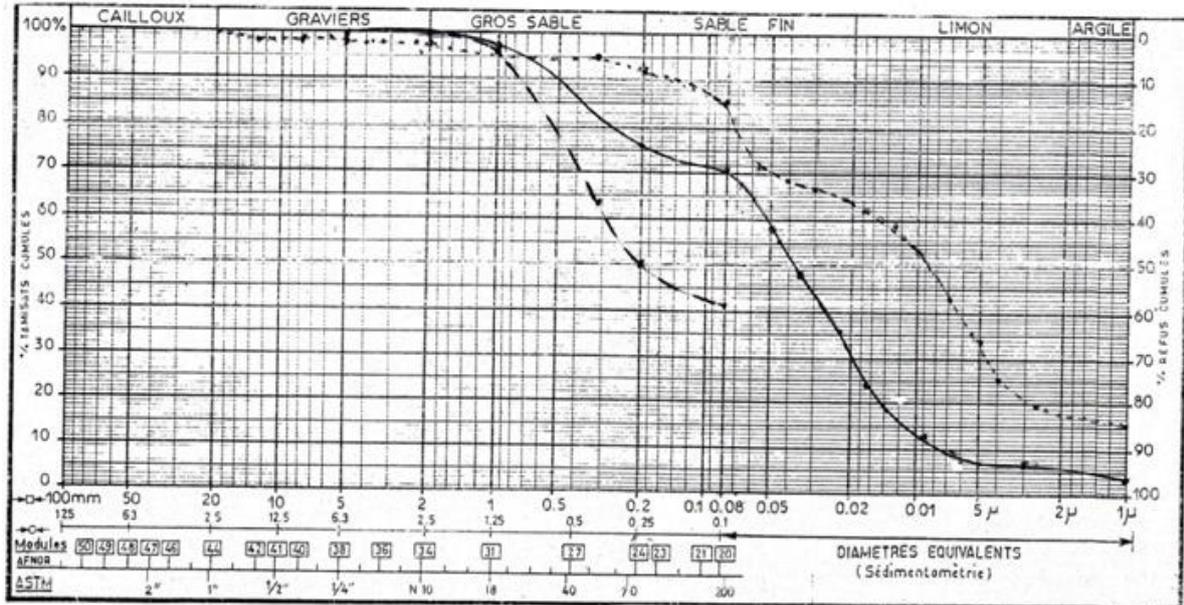
Pour la détermination des caractéristiques géotechniques du sol, les essais suivants ont été effectués :

- L'analyse granulométrique,
- la sédimentométrie,
- limites d'Atterberg
- l'essai au bleu de méthylène par la méthode de « test à la tâche »,

- l'essai Proctor modifié
- l'essai CBR (California Bearing Ratio)
- l'essai au bleu de méthylène.

3. RESULTATS

Les courbes granulométriques des échantillons de sols sont présentés dans les figures suivantes.



- Légende :
- _____ Echantillon N° 1 de nature LAS rougeâtre
 - Echantillon N° 2 de nature LSA jaunâtre
 - Echantillon N° 3 de nature LA marron

Figure 1. Courbes granulométriques par sédimentométrie des 03 types de sol

Dans un premier temps, nous avons utilisé l'eau potable comme eau de compactage. D'une part, les sols sont compactés avec de l'eau salée à différentes teneurs, d'autre part, ils sont compactés avec l'eau de mer. Nous avons illustré dans les figures suivantes, l'effet de la salinité de l'eau de compactage sur les différentes caractéristiques géotechniques routières considérées (poids volumiques et portance du sol après 96h d'imbibition).

Effet de la salinité sur le poids volumique au moment du compactage et après 96heures d'imbibition :

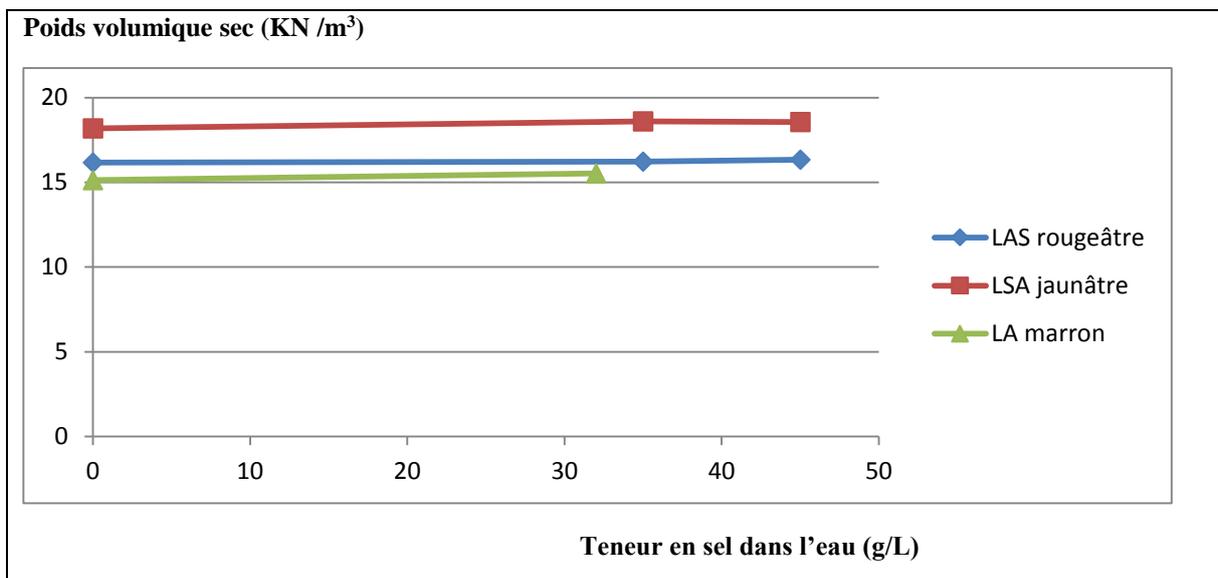


Figure 2. Effet de la teneur en sel sur le poids volumique après 96 heures d'imbibition des types de sol

La figure 2 montre que les poids volumique au moment du compactage et après 96heures d'imbibition sont peu affectés par la présence du sel.

Effet de la salinité sur la portance après saturation (après 96h d'imbibition) : Indice CBR après saturation (%)

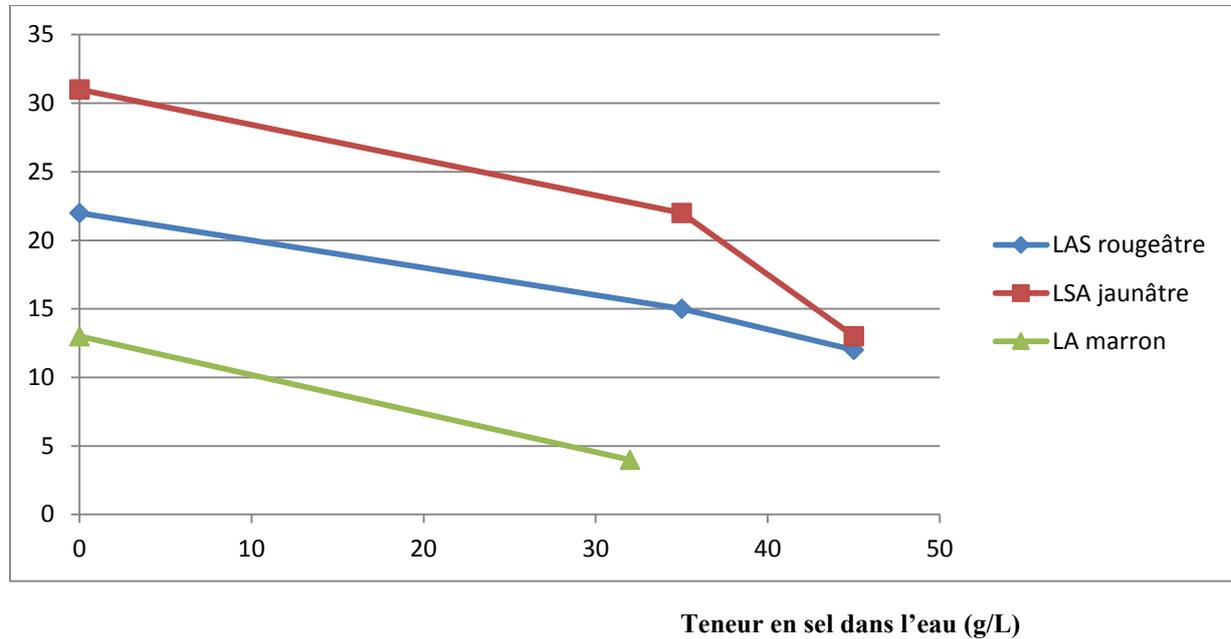


Figure 3. Effet de la salinité sur la portance après saturation des types de sols considérés

Cette figure montre que la portance du sol diminue lorsque la salinité de l'eau de compactage augmente.

L'essai au bleu de méthylène a été effectué pour déterminer généralement l'activité de l'argile dans le sol. Le bleu de méthylène est en effet adsorbé préférentiellement par les argiles (Normes géotechniques, 2014).

Les trois types de sols que nous avons étudié (LAS rougeâtre, LSA jaunâtre, LA marron) ont des valeurs de bleu à peu près égales, ces valeurs sont respectivement 1,2g ; 0,9g ; 1,1g.

D'après le Guide des Terrassements Routiers (GTR 92), ces sols analysés appartiennent à une même classification. En effet si $0,2 \leq V_{BS} < 1,5$ la catégorie du sol est un sol sablo limoneux, sensible à l'eau (Magnan J-P., 1989).

Les figures suivantes montrent les résultats obtenus par la méthode dite « test de la tâche » de l'essai au bleu de méthylène.

Résultats du test à la tâche



Figure 4 : LAS rougeâtre



Figure 5 : LSA jaunâtre

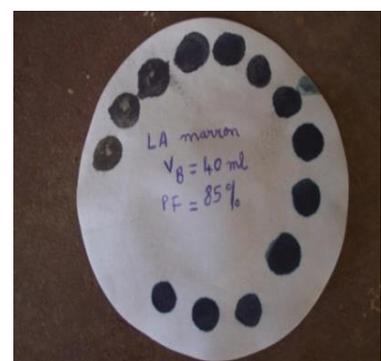


Figure 6 : LA marron

Les résultats des essais sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 1. Tableau récapitulatif des résultats

Paramètres	LAS rougeâtre	LSA jaunâtre	LA marron
Teneur en eau w : (%)	4,1	2,3	34,4
Poids volumique des particules solides γ_s : (KN/m ³)	26,87	26,75	30,44
Particules fines PF: (%)	71	42	85
Limite de liquidité w_L : (%)	41,4	30,4	66,9
Limite de plasticité w_P : (%)	24,5	17,4	45,8
Indice de plasticité I_p : (%)	17,0	13,0	21,1
Teneur en eau optimale w_{opt} : (%)	18,6	11,4	Eau potable : 25,8 Eau de mer : 23,5
Poids volumique optimal $\gamma_{d, opt}$: (KN/m ³)	17,04	19,3	Eau potable: 16,48 Eau de mer : 16,84
Gonflement relatif (%) en fonction de la teneur en sel (g/L):	à 0g/L : 0,06 à 35g/L : 0,06 à 45g/L : 0,03	à 0g/L : 0,08 à 35g/L : 0,06 à 45g/L : 0,06	à 0g/L : 2,62 à 32g/L : 3,15
Indice portant CBR (%) en fonction de la teneur en sel (g/L) :	à 0g/L : 22 à 35g/L : 15 à 45g/L : 12	à 0g/L : 31 à 35g/L : 22 à 45g/L : 13	à 0g/L : 13 à 32g/L : 4
Valeur au bleu du sol VBs : g/100g)	1,2	0,9	1,1

ANALYSES ET INTERPRETATIONS

D'après ce tableau 1, la portance diminue lorsque la salinité augmente. Pourtant, nous constatons que l'échantillon LA marron est beaucoup plus influencé par cette diminution. LAS rougeâtre aussi est plus influencé par rapport à LSA jaunâtre. Les types de sol jouent un rôle important sur l'influence de la salinité de l'eau de compactage :

- Plus le pourcentage de particules fines du sol est élevé, plus l'influence de la salinité de l'eau de compactage est importante : à 85% de fines, LA marron a une portance très faible parmi les trois types de sol considérés lorsque l'eau de compactage utilisée est l'eau de mer (32g/L de sel) ; de plus LAS rougeâtre aussi, à 71% de particules fines, a un indice de portance plus faible par rapport à LSA jaunâtre lorsque la salinité augmente.
- Plus le sol est plastique, c'est-à-dire sa quantité d'argile est élevée, plus son indice de portance CBR diminue lorsque le taux du sel dans l'eau de compactage augmente : la portance de LA marron qui a un indice de plasticité le plus grand ($I_p = 21\%$) est le plus faible, suivie par LAS rougeâtre ($I_p = 17\%$) et enfin LSA jaunâtre ($I_p = 13\%$). Et même, lorsqu'un type de sol présente un pourcentage élevé d'argile, son indice portant est faible par rapport à celui qui contient un pourcentage faible d'argile, tout en utilisant de l'eau potable (Ben Mosbah Yasmine et al., 2015). Ainsi, l'utilisation de l'eau saline dans les opérations de compactage affecte beaucoup plus la portance du sol dont le pourcentage de fines est élevé. Le pourcentage de l'argile est très sensible à l'action de l'eau saline.

Un autre test a été effectuée pour déterminer l'activité de l'argile: « l'essai au bleu de méthylène ». Les valeurs au bleu des sols LAS rougeâtre et LA marron sont presque la même. Le taux d'activité de LAS rougeâtre est donc beaucoup plus élevé même si sa quantité d'argile est faible par rapport à celui de LA marron. L'activité d'argile de LA marron est faible même si sa quantité d'argile est élevée. Cela confirme la sensibilité de l'argile avec l'eau saline même si son activité est faible.

Nous pouvons donc conclure ici que les portances de LAS rougeâtre et de LSA jaunâtre sont toujours acceptées lorsque la teneur en sel de l'eau de compactage est à peu près égale à celle de l'eau de mer ; même si elles diminuent, elles sont toujours bonnes d'après la correspondance entre CBR et portance du sol.

5. CONCLUSION

Cette étude, s'appuyant sur des données bibliographiques et sur des résultats des essais de laboratoires, a permis de présenter l'effet de la salinité de l'eau dans les opérations de compactage des matériaux du sol des régions Est et Nord-Ouest de Madagascar pour des travaux de terrassements.

Les résultats sont encourageants car l'eau salée étudiée à une teneur en sel proche de l'eau de mer ou l'eau de mer (de la côte Est de Madagascar) proprement dite peut être utilisée pour le compactage de sol de la plate-forme et du corps de la chaussée sans effet néfaste sur les matériaux.

Les portances sont toujours acceptables pour les sols (LAS rougeâtre et LSA jaunâtre) dont le pourcentage de fines ne présente pas un taux élevé, tandis que pour le sol (LA marron) dont le pourcentage d'argile est beaucoup plus élevé, la portance est faible du fait de la sensibilité de cette argile à l'eau saline même si son activité n'est pas vraiment élevée. Lorsque les limons et argiles figurent en grande quantité dans les types de sol, la portance du sol diminue par rapport aux sols qui présentent un pourcentage de fines un peu faible, même lorsque l'eau de compactage n'est pas de l'eau salée ni de l'eau de mer mais tout simplement de l'eau potable. La diminution de la portance pour ces types de sol est encore beaucoup plus élevée lorsque la salinité de l'eau de compactage augmente.

Ainsi, cette étude qui utilise l'eau de mer /eau salée dans les opérations de compactage présente des avantages économiques certains et peut servir une base de données en matière de construction routière du pays. Non seulement nous avons montré que l'eau de mer est une alternance à l'eau potable dans les localités où on n'en trouve pas, mais nous avons établi aussi que l'eau de mer améliore les caractéristiques géotechniques, notamment le poids volumique et la portance après 96 heures d'imbibition. Toutefois, nous ne pouvons pas prétendre épuiser toutes les recherches sur l'effet de la salinité sur le sol, ainsi il est souhaitable que la présente soit complétée par une étude de l'utilisation de l'eau de mer ou eau salée pour construire les autres couches de la route (couches de forme, couche de base, ...), d'une part, et l'étude des phénomènes physico-chimiques qui peuvent exister entre le sel présent et les matériaux du sol sur les routes, d'autre part.

6. BIBLIOGRAPHIE

1. A.M.P.C., (2015) : Association Marocaine permanente des congrès de la route, Aspects particuliers de la technique routière en zone Saharienne, [www.ampcr.ma/ T2 – 03ASP.htm](http://www.ampcr.ma/T2-03ASP.htm), consulté le 15 janvier 2015.
2. Alderson A. et al., (1991), Routes dans les régions désertiques, AIPCR,
3. Association Française de Normalisation (AFNOR) (1997) : Sols : Reconnaissance et Essais - Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR. NF P 94-078. 1er tirage 97-05-F. Paris La Défense Cedex : AFNOR
4. Ben Dhia M.H., (1983) : Les tufs et encroutements calcaires dans la construction routière. Thèse de l'Université de Paris VI, 189 pages.
5. Bigot G. et al., (2000): Retrait, gonflement et tassement des sols fins. Bull. Lab. Ponts et Chaussées, 229, p. 105-114.
6. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, (1998) : Quelques particularités de l'utilisation du sable de dune en construction routière en milieu saharien, 213-Jan-Fév, Réf 4159. Pp33-42.
7. Durouchoux C., (2001): Les barrages. E.N. Ponts et Chaussées, Points Formation Edition, "Application de la géologie dans les travaux du génie civil".
8. François D. et al., (2015) : Les Routes, les Différentes couches d'une route, pp5-8
9. Gara S., (1994) : Effet de la teneur en fines sur le comportement des graves non traitées : application au sable du désert, DEA – ENIT, Tunisie, 75 pages
10. Keller E.A. (2000) - Environmental geology. Prentice Hall.
11. Mode opératoire LCPC de 1970. Projet de mode opératoire C.E.B.T.P. (1977)
12. Ould Sid A.C. et al., (1995), Bulletin de liaison des Laboratoires Ponts et Chaussées, 199, sept-oct-, Ref 3995, pp27-34. « Terrassements routiers dans les sables de dunes de Mauritanie »
13. Paillier C., (2015) : Travaux pratiques de géotechnique, Page 1 / 6 IUT St Pierre, – Département Génie civil. ESSAI
14. Randriamalala T., (2005) : Aptitude des sols aux traitements minéraux (chaux et ciment) et aux stabilisants chimiques », Fév 2005, p28.

7. WEBOGRAPHIE

15. Aboutcivil. Civil Engineering (2015). Civil Engg Lectures, Books, Notes, Softwares site. <http://www.aboutcivil.org/california-bearing-ratio-test.html>, consulté le 05 février 2015.
16. AgroParisTech (2015) : Aide-mémoire de mécanique des sols : graduateschool.agroparistech.fr/site.php, consulté le 20 janvier 2015.
17. ARVOR Géotechnique, (2011) : « Indice Portant Immédiat- Indice CBR Immédiat- Indice CBR après immersion (NF P 94-078) ». http://arvor-geo.fr/cariboost_files/IPI_20CBR_20du_2026_01.pdf, consulté le 04 mai 2015.
18. Beauchamp J., (2003) : Mécanique des roches et des sols, <https://www.upicardie.fr/~beaucham/.../mecasol.htm?> Consulté le 14 décembre 2014.
19. Ben Mosbah Yasmine et al. (2015) : Travail pratique n°2 de mécanique des sols : compactage et portance d'un sol, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, aegc.epfl.ch... (pp 1-17), consulté le 02 février 2015.
20. Bilodeau JP, (2009) : Optimisation de la granulométrie des matériaux granulaires ..., Succion dans les matériaux granulaires de fondation des chaussées, archimede.bibl.ulaval.ca/Archimède/.../26136.html, consulté le 06 janvier 2015
21. Economie Afrique (2012): Construction de routes : la voie du développement de l'Afrique, <http://industrie.economie-afrique.com/industrie/construction-routes-developpement-afrique/>, consulté le 10 Juin 2015.
22. FAO, (2015) : Consistance des sols – [FAO.org. ftp://ftp.fao.org/ftp.fao.org/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706f/x6706f08.htm](http://ftp.fao.org/ftp.fao.org/ftp.fao.org/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706f/x6706f08.htm), consulté le 25 janvier 2015.
23. Groupe AFNOR (2015) : Normalisation, Certification, Edition et Formation, <http://www.boutique.afnor.org/norme/nf-p94-078/sols-reconnaissance-et-essais-indice-cbr-apres-immersion-indice-cbr-immédiat-indice-portant-immédiat-mesure-sur-échantil/article/707154/fa042054#info>, consulté le 15 février 2015.
24. Magnan J-P., (1989) : Essai au bleu de méthylène et classification géotechnique des sols, Bull, liaison Labo P. et Ch. • **159** - janv.-févr. 1989 - Réf. 3378, www.geotech-fr.org/.../BLPC%20159%20pp%2093-1..., consulté le 15 février 2015.
25. Normes géotechniques, (2014): Reconnaissance et essais géotechniques, Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux, <https://fr.scribd.com/doc/.../normes-geotechniques>, consulté le 05 janvier 2015
26. Oceana Plasma, (2015) : La Chimie de l'eau de mer, oceanplasma.org/documents/chimie.html, consulté le 09 février 2015.
27. ROCAMIX, (2008) : Cours de mécanique des sols, Cours de capacitation pour l'utilisation du « Système Rocanix », www.rocamix.fr/mecanica_suelos.php., consulté le 10 février 2015.
28. Sol Conseil, Soler Conseil, (2015): Qu'est ce que la géotechnique ? www.geotechnique.eu/, consulté le 10 janvier 2015.

2.9. Randriana N. R., Rakotoniriana H. J., Rabetafika H., **Ramaroson J. D.**, Randrianarivelo F.,
Randriamalala T. R, Andrianaivo L. « *Renforcement de la structure du Béton de Terre Comprimé
(BTC) par insertion des fibres* », Mada Hary - ISSN 2410 - 0315, Volume 4, 2015, pp 95 – 103,
<http://madarevues.recherches.gov.mg>.

Renforcement de la structure du Béton de Terre Comprimé (BTC) par insertion des fibres

Nambinina Richard Randriana *(1), Haritiana Jeannelle Rakotoniriana (1), Heriniaina Rabetafika (1), Jean de Dieu Ramaroson (2), Lala Andrianaivo (1), Frédéric Randrianarivelo (1), Tiana Richard Randriamalala (3).

(1) Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure Polytechnique, BP 1500 Antananarivo 101 Madagascar

(2) Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, Département Matériaux et Génie Civil, BP 6294, Antananarivo 101 Madagascar.

(3) Laboratoire National des Travaux Publics et des Bâtiments, Département Recherche et Matériaux, B.P. 1151, Antananarivo 101 Madagascar.

*auteur correspondant, email : richardrandriana@yahoo.fr

Résumé

Nous avons utilisé les fibres cellulosiques issues de la paille de riz, de la bagasse de canne à sucre et du bambou pour servir de liant renforçant la structure des matériaux stabilisés. Les résultats des hydrolyses successives (à l'acide nitrique dilué, puis, à la soude diluée) montrent que les fibres cellulosiques représentent près de 38,59 % de la matière sèche de la paille de riz, près de 48,89 % pour le bambou et 43,02 % pour la bagasse de canne à sucre.

Quant à la résistance à la flexion, non seulement l'incorporation des fibres augmente la résistance à la flexion sèche des éprouvettes, mais cette résistance s'améliore encore au cours du temps. Ainsi, pour le cas des fibres de la paille de riz, le maximum de la résistance passe de 1,72 à 2,65MPa du 28^{ème} jour au 60^{ème} jour, il en est de même pour les fibres de bambou à savoir de 2,23 à 3,24MPa et ainsi que de 1,68 à 2,73MPa pour les fibres de la bagasse. Donc, une des applications envisageable serait d'utiliser ces matériaux dans les régions à haut risque sismique où les résistances à la flexion des matériaux sont très sollicitées.

Mots clés : Paille de riz, bambou, bagasse, fibres cellulosiques, résistance à la flexion

1. INTRODUCTION

Madagascar, comme de nombreux pays en développement, il demeure confronté à un problème crucial du logement économique. Cette crise de l'habitat économique d'une telle ampleur nécessite d'urgence de nouvelles solutions, ainsi les techniciens doivent utiliser aux mieux les ressources locales, notamment la latérite et les fibres cellulosiques. La latérite est une matière première abondante, omniprésente dans toutes les régions de l'île de Madagascar. Les fibres cellulosiques sont également nombreuses comme celles obtenues à partir de la paille de riz, la bagasse de canne à sucre et les résidus des tiges de bambou. Utilisée depuis la nuit des temps par les hommes, sous différentes

techniques en matériau de construction, la terre crue continue à être couramment utilisée : On estime qu'entre un tiers et la moitié de la population mondiale vit encore dans les habitats en terre. Comme la plupart des matériaux, lorsque les charges appliquées au matériau de terre s'approchent de la charge de rupture, les fissures se propagent, parfois rapidement. Donc, il est capital de connaître si l'insertion des fibres cellulosiques dans matériaux stabilisés de latérite pourrait-elle améliorer la propriété mécanique desdits matériaux ? Ainsi, les objectifs de ce travail sont donc :

- Elaborer des matériaux de construction locaux à coût intermédiaire accessible à la couche moyenne.
- Etudier les résistances à la flexion des éprouvettes en latérite, stabilisées par addition des fibres cellulosiques issues de la paille de riz, de la bagasse de canne à sucre et du bambou.

2. MATERIELS

2.1. La latérite

2.1.1. Lieu d'extraction

La latérite est extraite dans le district d'Ambohidratrimo, d'élévation 1298m, à environ 1m de profondeur dans un lieu peu fréquenté, de coordonnées géographiques : Latitude : 18° 48' 48'' et Longitude : 47° 25' 29''. Elle est séchée pendant une semaine à la température ambiante avant les tests.

2.1.2. Analyse minéralogique des latérites d'Ambohidratrimo

L'analyse chimique effectuée permet d'établir que l'échantillon de latérite d'Ambohidratrimo est constitué de la Kaolinite, du Quartz, d'Oxyde de Fer, d'eau et d'Oxyde de Titane (Tableau 1).

Tableau 01 : Résultats des analyses minéralogiques des latérites d'Ambohidratrimo.

Kaolinite (%)	Quartz (%)	Oxyde de fer (%)	Eau (%)	Oxyde de titane (%)
72,00	11,15	7,40	5,00	2,60

2.1.3. La granulométrie

La granulométrie a été déterminée en emboîtant les tamis AFNOR (Association Française de Normalisation) de maille d'ouverture 100 µm ; 90 µm ; 80 µm, 71 µm, 63 µm et 50 µm dans cet ordre. Après tamisage, nous avons pesé les différentes fractions retenues. La courbe granulométrique est ainsi représentée par la figure 01.

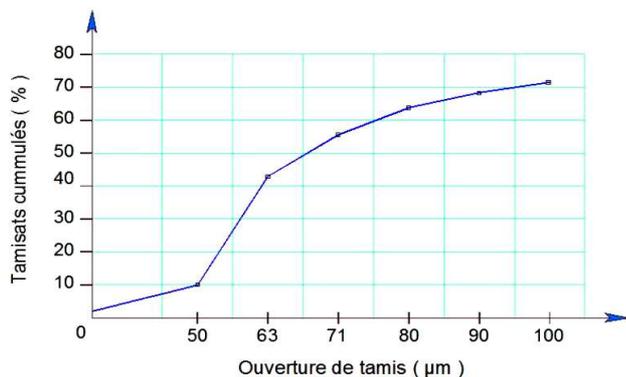


Figure 01: Courbe granulométrique de la latérite d'Ambohidratrimo

Le résultat a montré que 64% sont des éléments inférieurs à 80 µm : ce type de latérite a une granulométrie fine (excès de particules fines).

2.1.4. Les limites d'ATTERBERG

D'après les essais effectués, Nous avons déterminé les paramètres suivants : limite de liquidité : $W_L = 34\%$,
 Limite de plasticité : $W_p = 22\%$ et Indice de plasticité : $I_p = 12\%$.
 La latérite d'Ambohidratrimo est moyennement plastique ($5 < I_p < 15$).

2.1.5. La compressibilité

La teneur en eau optimale, obtenue par l'essai Proctor, de la latérite d'Ambohidratrimo est $W_{OP} = 16,2\%$ et la densité maximale sèche est $\gamma_{d op} = 18,2 \text{ kN/m}^3$. Selon la classification adoptée par (Houben H et Guillaume, 1989), la latérite d'Ambohidratrimo est classée dans le groupe excellent (plus facile à stabiliser) dans la construction de briques de terre stabilisées.

2.2. Les matières premières fibreuses

Chimiquement, la matière première végétale (bois et résidus végétaux) est essentiellement constituée de trois substances typiques, à savoir la cellulose, les hémicelluloses et la lignine. Elle contient également des matières minérales mais en plus faible quantité (Gérard M, 1964 ; Gret, 1979).

2.2.1. Le riz

Présentation

Classification

Règne : Végétale
 Division : Magnoliophyta
 Classe : Liliopsida

Sous-classe : Commelinidae
 Ordre : Cyperales
 Famille : Poaceae

Genre : *Oryza*
 Espèce : *Sativa*

Le riz est une plante annuelle glabre à chaume (tige) dressé ou étalé de hauteur variable, allant de moins d'un mètre jusqu'à cinq mètres pour les riz flottants. C'est une plante prédisposée au tallage, formant un bouquet de tiges, à racines fasciculées. Chimiquement, la paille de riz est essentiellement constituée de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine. La cellulose est le constituant structural le plus abondant (32 à 47% du poids sec du fourrage). Physiquement, la paille de riz a une structure fibreuse (fr.wikipedia.org/wiki/Riz).

2.2.2. Le bambou

Présentation

Classification

Règne : Végétale
 Division : Magnoliophyta
 Classe : Liliopsida
 Sous-classe : Commelinidae
 Ordre : Cyperales
 Famille : Poaceae
 Genre : *Bambusa*
 Espèce : *henonis*

Les bambous sont des plantes monocotylédones, caractérisés par des tiges formées d'un chaume creux lignifié à croissance très rapide. Suivant l'endroit où ils poussent, la nature du terrain, le climat, l'altitude, ils peuvent être très différents de taille, de forme, voire de couleur (fr.wikipedia.org/wiki/Bambou).

2.2.3. La canne à sucre

Présentation de la plante et de la bagasse

La canne à sucre est une grande graminée tropicale herbacée à port de roseau, d'une hauteur allant de 2,5 à 6m. Les tiges, d'un diamètre de 1,5 à 6cm, sont pleines (contrairement à la plupart des autres graminées, la moelle ne se résorbe pas). Les feuilles alternes sont réparties en deux files opposées et ont un limbe de 1m de long environ sur 2 à 10cm de large. La bagasse est le résidu fibreux de la canne à sucre qu'on a passée par le moulin pour en tirer le suc. Elle est composée principalement de la cellulose de la plante (fr.wikipedia.org/wiki/Canne à sucre).

Classification

Règne : Végétale
Division : Magnoliophyta
Famille : Poaceae
Sous-famille : Panicoideae
Tribus : Andropogoneae
Classe : Liliopsida
Genre : Saccharum
Espèce : Offinarum

3. METHODES

3.1. Préparation des fibres

3.1.1. Récolte des matières premières

Les matières premières fibreuses (paille de riz, bambou, et bagasse de canne à sucre) sont toutes récoltées dans le district d'Ambohidratrimo, leurs tiges sont, lavées, séchées, et découpées en petits morceaux de 1cm avant d'utilisation.

3.1.2. Matériels et produits chimiques

- Cuve de cuisson,
- Agitateur,
- bain thermostaté,
- pH mètre.
- Solutions d'acide nitrique et de soude à faible concentration,
- Eau distillée.

3.1.3. Obtention des fibres

Les fibres cellulosiques ont été obtenues par la méthode de mise en pâte. Cette méthode s'opère en deux parties : La cuisson et le lavage. La cuisson est l'opération la plus importante, sa fonction est d'effectuer une libération des fibres cellulosiques en solubilisant la lignine et l'hémicellulose. Elle se fait en deux étapes :

- L'hydrolyse en milieu acide dilué et à chaud.
- L'hydrolyse en milieu basique dilué et à chaud (Gret, 1979 ; Scriban R., 1984)

3.1.4. Optimisation de l'hydrolyse acide

. Dans une série de 10 béchers : E₁, E₂, E₃, ..., E₁₀ ; mettre 10g d'une matière première préalablement séchée et 20ml d'une solution d'acide nitrique à 2,5 %.

. Faire chauffer les béchers au bain - marie bouillant. Remuer de temps en temps le contenu de chaque bécher et noter l'heure.

. Au bout de 30mn retirer le contenu du bécher E₁, le laver et le sécher dans une l'étuve 105°C pendant 24h avant de le peser sur une balance de précision.

. Effectuer la même opération au bout de :

- 1 heure (60mn) pour le bécher E₂.
- 1 heure 30 minutes (90mn) pour le bécher E₃.
- 2 heures (120mn) pour le bécher E₄.
- 2 heures 30 minutes (150mn) pour le bécher E₅.
- 3 heures (180mn) pour le bécher E₆.
- 3 heures 30 minutes (210mn) pour le bécher E₇.
- 4 heures (240mn) pour le bécher E₈.
- 4 heures 30 minutes (270mn) pour le bécher E₉.
- 5 heures (300mn) pour le bécher E₁₀.

. Enfin, refaire toutes les opérations avec une solution d'acide nitrique à 5%, 7,5% et à 10%.

Expression des résultats

L'extraction de l'hémicellulose conduit à une perte de poids au niveau de la matière première: La masse perdue représente la masse de l'hémicellulose solubilisée.

Les résultats sont groupés dans des tableaux qui représentent les pertes en poids de la matière première fibreuse et permettent de déterminer les conditions optimales de l'hydrolyse acide de l'hémicellulose.

Nous retenons les conditions optimales de l'hydrolyse acide suivantes :

- 30 minutes de cuisson dans une solution d'acide nitrique à 10% pour la paille de riz.
- 2 heures 30 minutes de cuisson dans une solution d'acide nitrique à 10% pour la bagasse de canne à sucre.
- 3 heures de cuisson dans une solution d'acide nitrique à 10% pour le bambou.

3.1.5. Optimisation de l'hydrolyse à soude diluée et à chaud

Le traitement à soude diluée a pour but de solubiliser la totalité de la lignine. A l'issue de ce traitement, le résidu solide (sous forme de pâte et appelé hydrolysats 2) ne renferme que la fibre cellulosique (Boussarsar H., 2008 ; Scriban R.1984) .

a - Méthode expérimentale

- Dans une série de 5 béchers : E₁, E₂, E₃, E₄ et E₅ ; mettre 5g de l'hydrolysats 1 (résidu obtenu par l'hydrolyse acide nitrique dans des conditions optimales) et 20ml d'une solution de NaOH à 1 %.
- Faire chauffer les béchers au bain - marie bouillant. Remuer de temps en temps le contenu de chaque bécher et noter l'heure.
- Au bout de 30mn retirer le contenu du bécher E₁, le laver sur un tamis d'ouverture 0,2mm, sécher le tamisât à l'étuve 105°C pendant 24h avant de le peser sur une balance de précision (Salgarolo P., 1990)
- Effectuer la même opération au bout de :
- 1 heure (60mn) pour le bécher E₂.

- 1 heure 30 minutes (90mn) pour le bécher E₃.
- 2 heures (120mn) pour le bécher E₄.
- 2 heures 30 minutes (150mn) pour le bécher E₅.
- Enfin, refaire toutes les opérations avec une solution de soude à 2%, 3% et à 4%.

Expression des résultats

L'extraction de la lignine conduit à une perte de poids au niveau de l'hydrolysât 1: La masse perdue représente la masse de la lignine solubilisée.

.Nous retenons les valeurs optimales suivantes pour l'hydrolyse à soude :

- Pour la paille de riz, cuisson pendant 1heure dans une solution de soude à 1%.
- Pour le bambou, cuisson pendant 1heure 30 minutes dans une solution de soude à 2%.
- Pour la bagasse, cuisson pendant 1 heure dans une solution de soude à 1%.

3.1.6. Le lavage

Une fois la cuisson est terminée, nous obtenons des fibres (sous forme de pâte), on rince abondamment ces fibres dans l'eau distillée jusqu'à pH neutre : La fonction de ce lavage est de séparer les fibres des eaux résiduelles contenant les matières à rejeter. Ces fibres obtenues sont séchées, analysées (pour déterminer la teneur en cendres) et conservées dans un endroit sec avant l'utilisation (Gret, 1979).

3.2. Détermination de la teneur en fibres cellulosiques

3.2.1. Teneur en cendres dans la pâte sèche

Principe

La teneur en cendres est la partie restante après calcination de la pâte sèche dans un four à 600°C pendant 3heures. A partir de cette teneur en cendres nous pouvons calculer la teneur exacte des fibres cellulosiques dans la pâte sèche et dans la matière première fibreuse.

Mode opératoire

- Peser un échantillon de la pâte de fibres.
- Sécher l'échantillon dans l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant.
- Introduire la pâte sèche dans un creuset sec et placer l'ensemble dans un four à 600°C pendant 3 heures.
- Après refroidissement dans un dessiccateur, peser les cendres obtenues.

Calcul de la teneur en cendres

La teneur en cendres dans la pâte sèche est calculée de la manière suivante (Bakam A, Kor N, 2004 ; Salgarolo P, 1990 ; Scriban R , 1984) :

$$T_c = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} \times 100$$

Avec : T_c: teneur en cendres (%)

M₀: masse du creuset(g)

M₁ : masse du creuset + pâte sèche

(g)

M₂ : masse du creuset + cendre (g)

3.2.2. Teneur en fibres cellulosiques de la pâte sèche

La teneur en fibres cellulosiques de la pâte sèche est calculée par la

$$\text{formule : } T_{fp} = \frac{M_{ps} - M_c}{M_{ps}} \times 100$$

Avec :T_{fp}: teneur en fibres cellulosiques dans la pâte sèche (%)

M_c : masse des cendres (g)

M_{ps} : masse de la pâte sèche (g)

3.2.3. Teneur en fibres cellulosiques dans la matière première

La teneur en fibres cellulosiques dans la matière première sèche est donnée par :

$$T_{fm} = \frac{M_{ps} - M_c}{M_{mp}} \times 100$$

Avec : T_{fm}: teneur en fibres cellulosiques dans la matière première(%)

M_{ps} : masse de la pâte sèche (g)

M_c : masse des cendres (g)

M_{mp} : masse de la matière première sèche (g)

3.2.4. Présentation des résultats

Les résultats mentionnés dans le tableau ci - dessous sont obtenus par 100g de la matière première fibreuse sèche. Chaque expérience a été répétée au moins trois fois, ainsi les valeurs données dans le tableau 02 sont les moyennes des résultats.

Tableau 02 : Teneur en fibres cellulosiques de la matière première fibreuse

Matière première	Masse de la pâte sèche (g)	Masse des cendres (g)	Teneur en fibres cellulosiques de la pâte sèche (%)	Teneur en fibres cellulosiques de la matière première sèche (%)

Bambou	51,14	2,25	95,60	48,89
Paille de riz	54,67	16,08	70,58	38,59
Bagasse de canne à sucre	46,31	3,69	92,10	43,02

Nous remarquons que le bambou a la teneur la plus élevée en cellulose (48,89%) relativement élevée par rapport à celle présentée par la bibliographie. En résumé, l'abondance des fibres cellulosiques d'une plante dépend de sa qualité, de l'endroit où elle pousse, du climat...



Figure 02: Fibres cellulosiques après séchage à l'étuve 105°C

3.3 Confection et caractérisation des éprouvettes

L'organigramme (Figure 3) a été adopté dans les étapes de la confection et de caractérisation des éprouvettes.

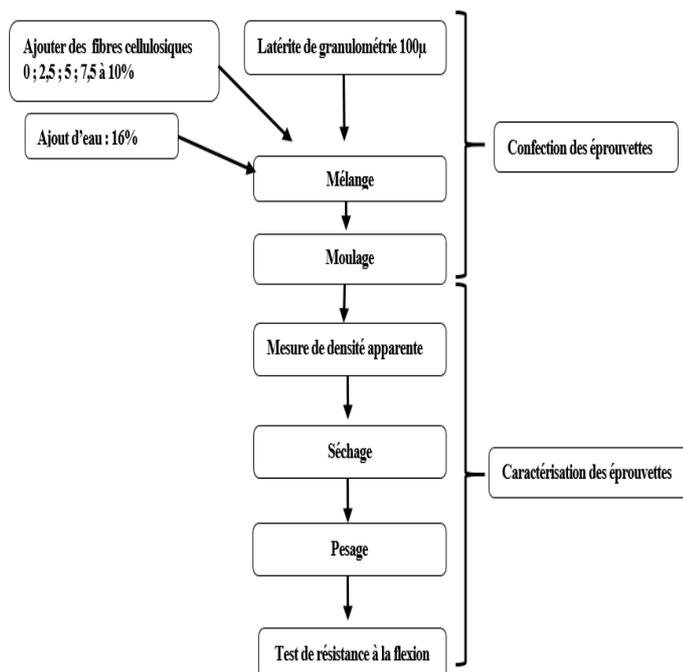


Figure 03: Organigramme de la confection et caractérisation des éprouvettes.

3.3.1. Conditions de moulage : Forme des éprouvettes et force de compactage

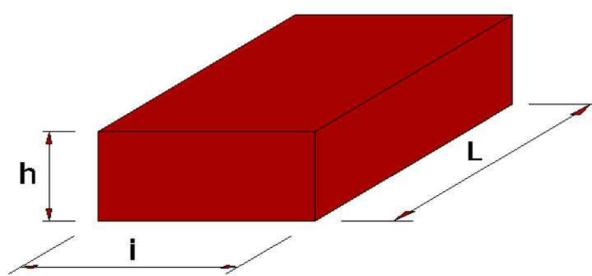
La confection des éprouvettes se réalise à l'aide d'un moule parallélépipédique de dimensions intérieures : Longueur $L=8$ cm ; largeur $l=4$ cm et la hauteur $h=5$ cm (Bakam A, Kor N., 2004). Le compactage s'effectue avec la machine multifonctionnelle du type Testwell réglée à la force de compactage : 5000 daN et la hauteur moyenne des éprouvettes obtenues : 2cm

3.3.2. Teneur en eau optimale du moulage

La résistance des éprouvettes est en relation directe avec leur densité sèche : plus élevée sera-t-elle, meilleure sera la résistance (Laurent G, 1985). Donc, le but de l'essai est de chercher la teneur en eau optimale correspondant à une densité sèche maximale. Pour chercher la teneur en eau optimale, nous avons réalisé plusieurs éprouvettes avec des teneurs en eau différentes. La teneur en eau optimale est celle qui permet de fabriquer l'éprouvette qui a la plus grande densité sèche, nous avons pu trouver que la teneur en eau optimale de l'éprouvette à différents pourcentages de fibres est de 16 %.

3.3.3. Test de résistance à la flexion

Cet essai consiste à déterminer la résistance à la flexion des éprouvettes. L'essai se fait sur l'éprouvette parallélépipédique (Figure 3) reposant sur deux appuis parallèles A et B (Figure 4); on applique au milieu une charge F que l'on fait croître graduellement jusqu'à la rupture qui se produit au milieu de l'éprouvette.



Dimensions moyennes : h (hauteur) = 2 cm
 l (largeur) = 4 cm ; L (longueur) = 8 cm

Figure 03 : Schéma simplifié d'une éprouvette parallélépipédique

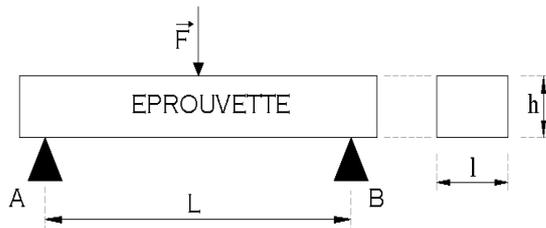


Figure 10: Eprouvette parallélépipédique sollicitée à la flexion

3.3.4. Expression des résultats

On note la force appliquée à la rupture (lecture sur le cadran en daN). La résistance à la flexion simple R_f est définie par (Larralde J-P, 1990) et par (Stepine P., 1986) :

$$R_f = \frac{3.F.L}{2.l.h^2}$$

- Avec : R_f : résistance à la flexion (MPa)
- F : Force maximale appliquée (daN)
- L : Distance entre les deux appuis (mm)
- l : Largeur de l'éprouvette (mm)
- h : Hauteur de l'éprouvette (mm)

4. RESULTATS

4.1. Résistance à la flexion au 28^{ème} jour

Les valeurs de la résistance à la flexion dans les tableaux 03 et 04 sont les moyennes de 7 éprouvettes.

Tableau 03 : Résultats de la résistance à la flexion au 28^{ème} jour

Teneur en fibres (%)	Résistance à la flexion au 28 ^{ème} jour (MPa)		
	Paille de riz	Bambou	Bagasse de canne à sucre
0	1,29	1,29	1,29
2,5	1,38	1,77	1,46
5	1,45	2,23	1,53
7,5	1,72	1,75	1,68
10	1,41	1,63	1,49

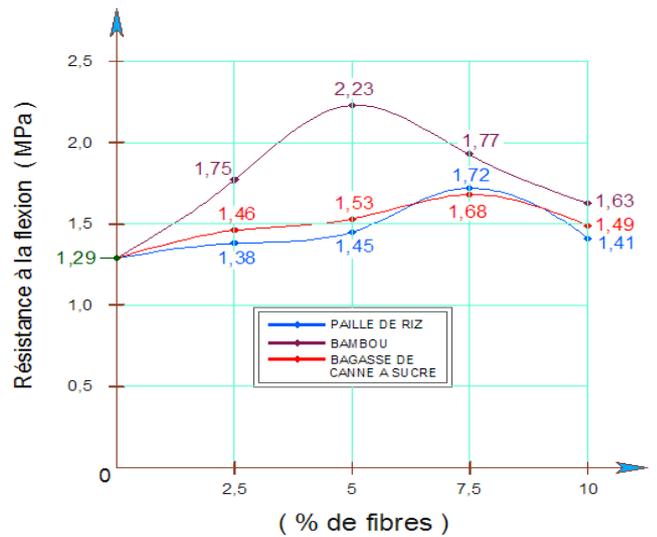


Figure 04: Résistance à la flexion à l'échéance de 28 jours, en fonction de la teneur en fibres.

4.2. Résultats au 60^{ème} jour

Les résultats sont présentés dans le tableau 4 et la figure 5.

Tableau 04: Résultats de la résistance à la flexion sèche au 60^{ème} jour.

Teneur en fibres (%)	Résistance à la flexion sèche au 60 ^{ème} jour (MPa)		
	Paille de riz	Bambou	Bagasse de canne à sucre
0	1,80	1,80	1,80
2,5	1,96	2,11	2,05
5	2,26	3,24	2,48
7,5	2,65	2,87	2,73
10	2,40	2,69	2,52

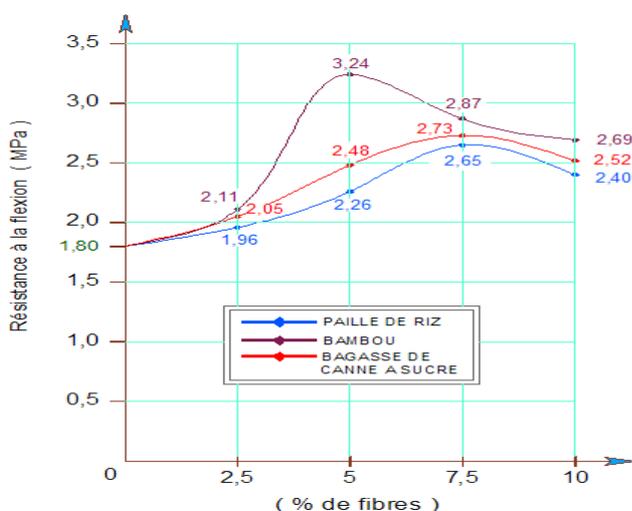


Figure 05: Résistance à la flexion à l'échéance de 60 jours, en fonction de la teneur en fibres.

5. ANALYSES ET INTERPRETATIONS

Les résultats obtenus montrent que l'ajout de fibres améliore la résistance à la flexion des éprouvettes. Si la résistance des éprouvettes sans fibres est de 1,29MPa, elle passe jusqu'à 1,72MPa pour les fibres cellulosiques issues de la paille de riz, jusqu'à 2,23MPa pour les fibres du bambou et de 1,68MPa pour la bagasse de canne à sucre.

Cependant, des résultats inattendus sont observés : l'augmentation de la résistance à la flexion ne dépend pas de l'accroissement de la teneur en fibres, ainsi :

- Pour le cas des fibres de la paille de riz, la résistance à la flexion à sec croît de 1,38 à 1,72MPa quand on augmente la teneur en fibres de 2,5 à 7,5 %, ensuite, elle décroît de 1,72 à 1,41MPa quand la teneur en fibres croît de 7,5 à 10 %.
- Quant aux fibres de bambou, la résistance à la flexion sèche monte de 1,77 à 2,23MPa pour une teneur en fibres de 2,5 à 5 %, ensuite, elle diminue de 2,23 à 1,63MPa lorsque la teneur en fibres passe de 5 à 10 %.
- Enfin, pour les fibres de la bagasse, la résistance à la flexion sèche passe de 1,46 à 1,68MPa pour une teneur en fibres de 2,5 à 7,5 %, ensuite, elle diminue de 1,68 à 1,49MPa entre les teneurs en fibres de 7,5 et 10 %.

Ces résultats nous permettent de constater qu'il y a une quantité optimale en fibres à ne pas dépasser. Au-dessus de cette quantité, la liaison latérite-fibre devient plus faible. En définitive, l'insertion de fibres dans l'éprouvette de latérite améliore notablement la résistance à la flexion du matériau. Les résultats expérimentaux à l'échéance du 28^{ème} jour nous montrent que le maximum de la résistance est obtenu à la teneur de :

- 7,5 % de fibres pour la paille de riz (1,72MPa).

- 5 % de fibres pour le bambou (2,23MPa).
- 7,5 % de fibres pour la bagasse (1,68MPa).

Les fibres de bambou sont donc plus efficaces pour renforcer les matériaux stabilisés car le maximum (2,23MPa) est beaucoup plus rapidement obtenu.

A l'échéance du 60^{ème} jour, les résistances à la flexion augmentent par rapport à celles observées au 28^{ème} jour.

- Pour le cas des fibres de la paille de riz, le maximum de résistance passe de 1,72 MPa à 2,65MPa.
- Pour le cas des fibres de bambou, le maximum de résistance passe de 2,23MPa à 3,24 MPa.
- Enfin, pour la bagasse, ce maximum de résistance passe de 1,68 à 2,73MPa.

Ces résultats nous montrent aussi que l'adhérence latérite-fibres s'intensifie avec le temps, cette adhérence est approuvée par l'augmentation des résistances à la flexion.

6. CONCLUSION

Dans le cadre de la recherche des nouveaux matériaux écologiques, la recherche sur les essais de stabilisation de la latérite avec les fibres cellulosiques, bien que récemment développé en Afrique, constitue une perspective intéressante afin de valoriser les matières premières locales. C'est dans ce contexte que le présent travail a été initié. Nous avons utilisé les fibres cellulosiques issues de la paille de riz, de la bagasse de canne à sucre et du bambou pour servir de liant renforçant la structure des matériaux stabilisés.

Les résultats des hydrolyses successives (à l'acide nitrique dilué, puis, à la soude diluée) montrent que les fibres cellulosiques représentent près de 38,59 % de la matière sèche de la paille de riz, près de 48,89 % pour le bambou et 43,02 % pour la bagasse.

Quant à la résistance à la flexion, l'incorporation des fibres augmente la résistance à la flexion sèche des éprouvettes. Cette résistance s'améliore au cours du temps. Ainsi, pour le cas des fibres de la paille de riz, le maximum de la résistance passe de 1,72 à 2,65MPa du 28^{ème} jour au 60^{ème} jour, il en est de même pour les fibres de bambou à savoir de 2,23 à 3,24MPa et ainsi que de 1,68 à 2,73MPa pour les fibres de la bagasse. Donc, une des applications envisageable serait d'utiliser ces matériaux dans les régions à haut risque sismique où les résistances à la flexion des matériaux sont très sollicitées.

Bien que nous ayons eu ces quelques résultats, cette recherche est loin de la perfection, ainsi il est instructif de savoir ses limites et ses difficultés. Premièrement, la production en grande quantité de fibres nécessite des matériels plus mécanisés donc plus coûteux : cuves hermétiques en acier pour la cuisson, filtre métallique cylindrique horizontal rotatif pour le lavage ; de plus, le malaxage (très difficile) de terre-fibres exige, sans doute des moyens mécanisés encore plus coûteux.

Les résultats expérimentaux de la résistance à la flexion des blocs armés de fibres témoignent bien l'efficacité des fibres pour ce type de sollicitation. Cependant, il serait intéressant d'étendre cette étude sur d'autres fibres provenant d'une source localement abondante. Nous pouvons aussi envisager l'addition supplémentaire d'un imperméabilisant, en particulier les résidus d'extraction bitumineuse, afin d'améliorer les comportements en milieu humide (Porosité, Résistances humides)

7. BIBLIOGRAPHIE

1. Abd-elmalik, (2002): Contribution à l'étude de stabilisation de la latérite par la paille de riz: Approche biochimique. [D.E.A : Sciences des matériaux et métallurgies. Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo. Madagascar, pp10-100
2. Armentano, I. et al. (2010). Biodegradable polymer matrix nanocomposites for tissue engineering: a review. *Polymer Degradation and Stability*, 95, 2126-2146.
3. Boussarsar H., (2008): Application de traitements thermique et enzymatique de solubilisation et saccharification de la fraction hémicellulosique en vue de la valorisation de la bagasse de canne à sucre. Thèse de Doctorat.
4. Chivrac, F. et al. (2006). Aromatic copolyester-based nanobio-composites: elaboration, structural characterization and properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 14, 393-401.
5. David W, (1994): Comment fabriquer son papier ?, pp25-75
6. Gérard M., (1964): Le papier. Presse Universitaire de France, pp 30-95
7. Gret, (1979): Biomasse : comparaison des valorisations des pailles de mil, de riz, et coques d'arachide. Ministère de la coopération, pp 40-120
8. Houben H. et al. (1989): Traité de construction en terre, l'Encyclopédie de la construction en terre. Edition parenthèses, 1989, pp55-155
9. Kamigaito, O. et al. (1984). Composite material composed of clay mineral and organic high polymer and method for producing the same. US Patent 4,472, 538, Toyota.
10. Karst, D. et al. (2005). Using the solubility parameter to explain disperse dye sorption on polylactide. *Journal of Applied Polymer Science*, 96, 416-422.
11. Larralde J-P, (1990): Résistance des matériaux .Sollicitations simples. MASSON, 1990, Tome 1. pp25-124
12. Laurent G., (1985): Principe directeurs pour l'emploi de la terre crue. 1^{ère} édition, pp10-90.
13. Lindberg, J. (1967): Studies on thermodynamics of lignins and related polymers. II. Thermodynamics of solubility. *Suomen Kemistilehti*, B 40, 225-228.
14. Nguyen, T-P. (2011): Polymer-based nanocomposites for organic optoelectronic devices: a review.
15. Park, H.M. et al. (2002): Preparation and properties of biodegradable thermoplastic starch/clay hybrids. *Macromolecular Materials and Engineering*, 287, 553-558.
16. Pouteau, C. et al. (2004): Lignin- polymer blends: evaluation of compatibility by image analysis. *C.R. Biologies*, 327, 935-943. *Surface and Coatings Technology*, 206, 742-752.
17. Rabotovo O.M.A., (2006): Etude comparative de la stabilisation des latérites avec les liants : ciment et silice active additionnée de l'urée. Mémoire de fin d'études en vue d'obtention de diplôme d'ingénieur en Génie Chimique, ESPA- Université d'Antananarivo, Madagascar, pp44-85
18. Rinaudo M., (1998): Etude bibliographique sur les matériaux issus de la biomasse végétale. CNRS, pp15-75
19. Salgarolo P., (1990): Pratique des manipulations de chimie à l'usage des biologistes, pp15-115
20. Scriban R., (1984): Biotechnologie. 2^e Edition, pp15-145
21. Stepine P., (1986): Résistance des matériaux. Editions MIR, pp5-135
22. Tang, X.Z. et al. (2012): Recent advances in Biopolymers and Biopolymer-Based nanocomposites for food packaging materials. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52, 426-442.
23. Thakore et al. (1999): Evaluation of compatibility of poly(vinyl chloride)/starch acetate blends using simple techniques. *Journal of applied polymer science*, 71, 1851-1861.
24. Vaia, R.A. et al. (1997): Lattice model of polymer melt intercalation in organically modified layered silicates. *Macromolecules*, 30, 7990-7999.
25. Van Krevelen et al. (1990): In properties of polymers: Their correlation with chemical structure; their numerical estimation and prediction from additive group contributions. Elsevier, 3rd Edition, Amsterdam, pp 189-225.

26. Verdeyen J. et al. (1962) : Stabilité des terres. Sols routiers - soutènements – talus .Editions Eyrolles, pp11-158
27. Zhao, X. et al. (2011): Polymer supported nanocomposites for environmental application: a review. Chemical Engineering Journal, 170, 381-394.

9. WEBOGRAPHIE

28. fr.wikipedia.org/.../Analysegranulométrie, Date de consultation : 10/03/08)
 29. fr.wikipedia.org/ wiki / Bambou, Date de consultation : 17/03/08)
 30. fr.wikipedia.org / wiki / Riz, Date de consultation : 17/03/08)
 31. .fr.wikipedia.org/ wiki / Canne à sucre, Date de consultation : 05/07/10)
 32. ttp //geotech.sn/cours/file. php /1/, Date de consultation : 21/11/07)
- www.cours-genie-civil. , Date de consultation : 21/11/07)