

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

PREMIERE PARTIE: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : GENERALITES SUR LE PALMIER À HUILE

- I.1 - ORIGINE ET HISTORIQUE
- I.2 - SYSTEMATIQUE DU PALMIER
- I.3- DESCRIPTION BOTANIQUE
- I.4 - VARIETES DE LA COQUE DU PALMIER
- I.5 – ECOLOGIE DU PALMIER A HUILE
- I.6 - AIRE GEOGRAPHIQUE DU PALMIER
- I.7 - UTILISATION DU PALMIER A HUILE
- I.8 - PLANTES OLEAGINEUSES
- I.9 - TECHNOLOGIE D'OBTENTION
- I.10 - DESCRIPTION DU PROCESSUS DE FABRICATION
- I.11- CARACTERISTIQUES DES HUILES DE PALMISTE
- I.12 - RAFFINAGE
- I.13 – PRODUCTION

CHAPITRE II: GENERALITES ET RAPPELS SUR LES LATERITES

- II. 1- DEFINITION
- II.2- FORMATION DES LATERITES
- II.3- INTENSITE DE LATERISATION
- II. 4- CLASSIFICATION DES LATERITES
- II.5- CONSTITUANT DES LATERITES
- II.6 – UTILISATION DES LATERITES
- II.7 - LA NORMALISATION ET CONSTRUCTION EN TERRE
- II.8 - LA STABILISATION DES LATERITES
- II.9 - LES TECHNIQUES DE STABILISATION
- II.10 - LES STABILISANTS
- II. 11 - LES ADDITIFS
- II. 12 – METHODE DE STABILISATION
- II.13 - CARACTERISATION DES LATERITES STABILISEES

DEUXIEME PARTIE: ETUDE EXPERIMENTALE

INTRODUCTION

Chapitre I: VALORISATION DES AMANDES PALMISTES

- I.1- HUILE DE PALMISTE
- I.2 – TOURTEAU DE PALMISTE
- I.3 – CONCLUSION

Chapitre II: VALORISATION DES COQUES DE PALME

- II.1 – PREPARATION DES MATIERES PREMIERES
- II.2 – STABILISATION DES LATERITES PAR LES DIFFERENTS LIANTS
- II.3 – ESSAI SUR LA FAIBLE PRESSION DE COMPACTAGE
- II.4 – CONFECTION DES BRIQUES STABILISEES LEGERES
- II.5 – CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

ANNEXES

LISTES DES ANNEXES

ANNEXE I : Le détail de la fabrication d'huile de palme

ANNEXE II : Méthode d'analyse des acides gras

ANNEXE III : Analyse physico-chimique de l'huile

ANNEXE IV : Identification des latérites

ANNEXE V : Détermination des éléments chimiques

ANNEXE VI : Eprouvettes en latérite

ANNEXE VII : Briques stabilisées par le liant chaux et/ ou ciment

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 01: Caractéristiques des éléments constitués d'un fruit mur de <i>Elaeis guineensis</i>	5
Tableau 02: Les exigences du palmier à huile <i>Elaeis guineensis</i>	8
Tableau 03: Propriétés physiques des huiles de palmiste et de palme de <i>Elaeis guineensis</i>	16
Tableau 04: Caractéristiques physico-chimiques des huiles de palme et de palmiste	16
Tableau 05: Quelques données statistiques des productions à Madagascar.....	18
Tableau 06: Classification des latérites selon LACROIX.....	21
Tableau 07: Résistance à la compression des briques en latérite pour différents types des stabilisants.	26
Tableau 08: Les valeurs des caractéristiques physico-chimiques de l'huile palmiste	35
Tableau 09: Composition des acides gras de l'huile de l'amande palmiste par CPG.....	37
Tableau 10: Composition en éléments chimiques du tourteau de palme	41
Tableau 11: Composition moyenne du tourteau de palmiste	41
Tableau 12: Caractéristiques physiques de la latérite de Vontovorona	47
Tableau 13: Composition chimique de la latérite de Vontovorona.....	47
Tableau 14: Composition minéralogique de la latérite	47
Tableau 15: Résultat de l'analyse granulométrique de la latérite de Vontovorona	47
Tableau 16: Composition en éléments chimiques des coques de palme.....	49
Tableau 17: Détermination de la teneur en eau de latérite stabilisée avec ciment 10 %.....	50
Tableau 18: Latérite de Vontovorona en présence de ciment et la latérite-coque + ciment	53
Tableau 19: Latérite de Vontovorona en présence de ciment 10 % et la latérite-coque ciment 10 %..	54
Tableau 20: Latérite de Vontovorona en présence de 5 % de chaux et la latérite-coque en présence de chaux 5 %	57
Tableau 21: Latérite de Vontovorona en présence 10 % de chaux et la latérite + coque en présence de chaux 10 %	58
Tableau 22: Latérite de Vontovorona en présence 10 % de chaux-ciment et la latérite + coque en présence de chaux-ciment 10 %.....	61
Tableau 23: Latérite de Vontovorona en présence de chaux-ciment et la latérite + coque en présence de chaux-ciment 10 %	63
Tableau 24: Stabilisation de la latérite et de la latérite-coque avec le liant chaux-ciment 10 %.....	65
Tableau 25: Stabilisation de la latérite-coque avec le liant chaux à 1570 daN.....	67
Tableau 26: Stabilisation de la latérite-coque avec le liant ciment à 1570 daN.....	68
Tableau 27 : Résultat des tests sur les différentes briques stabilisées.....	71
Tableau 28 : Résultat des essais de fabrication de béton léger	73

LISTE DES FIGURES

Figure 01: Représentation des différents organes du palmier à huile	3
Figure 02: Coupe représentatif d'un fruit de palme d'après Desassis A.	5
Figure 03: Schéma et composition moyenne des fruits dans les variétés <i>dura</i> , <i>tenera</i> et <i>pisifera</i>	6
Figure 04: Schéma et composition moyenne de la coque d'un fruit de <i>dura</i> Deli.....	7
Figure 05: Aire de culture du palmier à huile à Madagascar (d'après P. Hubert).....	9
Figure 06: Représentation schématique des appareils de huilerie de palme	13
Figure 07: Appareil de mesure des résistances à la compression (Machine Testwell).....	31
Figure 08 : Profil chromatographique de l'huile palmiste par CPG	36

LISTE DES COURBES

Courbe 01 : La granulométrie de la latérite de Vontovorona.....	48
Courbe 02: Porosité moyenne des échantillons en fonction de la teneur en eau	51
Courbe 03: Résistance à la compression moyenne à l'état sec et à l'état humide en fonction de la teneur en eau	52
Courbe 04 : Variation de la porosité des échantillons par le liant ciment-chaux en fonction de la pression de compactage 10 %.....	64
Courbe 05 : Résistance à la compression à l'état sec et à l'état humide des échantillons stabilisés par le liant ciment-chaux 10 %	64

LISTES DES DIAGRAMMES

Diagramme 01: Porosité des éprouvettes stabilisées avec le liant ciment 5 et 10 %	55
Diagramme 02 : Résistance à la compression moyenne des échantillons stabilisés par le ciment 5 et 10 %.....	55
Diagramme 03 : Résistance à la compression moyenne à l'état humide des éprouvettes avec du ciment 5 et 10 %	56
Diagramme 04 : Porosité des éprouvettes stabilisées avec liant chaux 5 et 10 %	59
Diagramme 05 : Résistance à la compression moyenne des échantillons stabilisés par le chaux 5 et 10 %	59
Diagramme 06 : Résistance à la compression à l'état humide avec du chaux	60
Diagramme 07 : Porosité des échantillons stabilisés avec le liant ciment-chaux 10 %	62
Diagramme 08 : Résistance à la compression moyenne à l'état sec et humide des échantillons stabilisés par le ciment-chaux 10 %.....	62
Diagramme 09: Porosité des échantillons stabilisés avec le liant ciment-chaux 10 %	66
Diagramme 10: Résistance à la compression moyenne à l'état sec et humide des échantillons stabilisés par le ciment-chaux 10 %.....	66
Diagramme 11: Porosité des échantillons stabilisés par le liant chaux et le liant ciment	69
Diagramme 12: Résistance à la compression moyenne des échantillons stabilisés par le liant chaux et le liant ciment.....	69
Diagramme 13: Résistance à la compression moyenne à l'état humide des échantillons stabilisés par le liant chaux et le liant ciment.....	70
Diagramme 14 : Résistance à la compression à l'état sec et humide des différentes briques stabilisées.....	72

LISTE DES ORGANIGRAMMES

Organigramme 01 : Schéma de la chaîne de fabrication d'huile de palme et de palmiste.....	15
Organigramme 02 : Le rendement après traitement industriel des régimes.....	18
Organigramme 03 : Schéma simplifié de la valorisation de noix de palme.....	32
Organigramme 04: Protocole d'essai de fabrication des briquettes stabilisées par les liants ciment et chaux.....	43

LISTE DES ABREVIATIONS

COREMA	:	Comptoir de Récupération de Madagascar
CPA	:	Ciment Portland Artificiel
CPG	:	Chromatographie en Phase Gazeuse
BSCi	:	Brique stabilisée à la chaux inconnue
BSC10	:	Brique de terre stabilisée au ciment 10 %
BSC5	:	Brique de terre stabilisée au ciment 5 %
BSL	:	Brique de terre stabilisée légère additionnée de coque de palme
BTC	:	Briques de terre comprimées
DBG	:	Deux briques « Gasy » cuite équivalentes à une brique stabilisée
daN	:	Déca Newton
E N	:	Norme Européenne
ESPA	:	Ecole Supérieure Polytechnique d’Antananarivo
ESSA	:	Ecole Supérieure en Sciences Agronomiques
IMRA	:	Institut Malagasy de Recherches Appliquées
INSTAT	:	Institut National des Statistiques
IRHO	:	Institut de Recherche en Huile et Oléagineux
LCE	:	Longueur de Chaînes Equivalentes
MPa	:	Méga Pascal
N F	:	Norme Française
ONU	:	Organisation des Nations Unies
P F	:	Perte au feu
SAI	:	Société Agricole et Industrielle d’Ivondro
SAVA	:	Région Sambava Antalaha Vohémar Andapa
SEIM	:	Société d’Exploitation Industrielle de Madagascar
SOMAPALM	:	Société Malgache pour le Palmier à Huile
UBC	:	Union Building Code

INTRODUCTION GENERALE

Les palmiers tiennent une place importante dans le domaine de l'économie malgache. Cette importance s'explique par la valorisation de l'huile extraite de ses fruits et surtout des coques. Mais les autres parties de la plante fournissent aussi des produits utiles à l'Homme telles que : les feuilles, les racines, les fibres, les fleurs, la pulpe du fruit et l'amande. Les palmiers servent de préparations médicinales ou de produit d'hygiène.

Ils sont rencontrés sur la côte Est de Madagascar, allant de Sambava jusqu'à Manakara. Le palmier à huile, premier fournisseur de corps gras végétal de la planète devant le soja, est cultivé pour ses deux types d'huiles comestibles : huile de palme et de palmiste.

Mais les paysans malgaches ne s'intéressent qu'à la production d'huile de palme et laissent leurs déchets dans le lieu d'extraction. Ces déchets polluent l'environnement.

A Madagascar, la construction d'un bâtiment n'est plus à la portée de la majorité de la population à cause du coût élevé des matériels, y compris le prix des ciments.

Plusieurs travaux de recherches sur la stabilisation de la latérite ont donné des résultats satisfaisants du point de vue amélioration de la résistance à la compression et aussi pour la résistance à l'eau. Le problème se pose sur la masse volumique des briques produites.

Ce qui nous donne l'idée du thème de ce présent mémoire qui s'intitule : "CONTRIBUTION A L'ETUDE DE VALORISATION DU NOYAU DE PALME ; valorisation des amandes palmistes et utilisation des coques comme matériaux de construction". Les matériaux de construction (pierres, terres crues ou cuites, bois, béton, métaux, etc.) sont les matériaux qui ont la propriété de résister contre des forces importantes.

Notre choix s'est porté sur le matériau-terre qui connaît actuellement un regain d'intérêt suite à la crise énergétique et celle du logement. Contrairement au ciment, au béton ou à l'acier, la terre à l'état naturel peut être utilisée comme matériau de construction pratiquement sans dépense d'énergie, elle présente de nombreux avantages environnementaux, sociaux, économiques et culturels.

Pour ce faire, nous passons d'abord par l'étude bibliographique des matières premières : la latérite, les palmiers à huile et les liants. Nous présenterons dans la partie expérimentale, les résultats concernant les travaux effectués au laboratoire et les caractéristiques des produits finis.

Dans le cas de la stabilisation du sol, nous avons effectués des essais sur les éprouvettes et des essais sur les briques confectionnées. Il s'agit de présenter les résultats concernant les performances et les propriétés physiques et mécaniques des matériaux donnés.

L'effet de stabilisation au liant ciment et/ou chaux sur ces paramètres étudiés est mis en évidence. Dans le cadre de notre études, nous nous sommes fixés à des taux de liant 5 % et 10 % pour des conditions pratiques et économiques.

Nous avons choisi aussi de mener en parallèle une étude sur l'influence de l'humidité sur les propriétés performantes de ce matériau, du fait que l'eau est le facteur principal des agents susceptibles de dégrader les constructions en terre.



Première partie
Etude bibliographique

Chapitre I

GENERALITES SUR LE PALMIER À HUILE

I.1 - ORIGINE ET HISTORIQUE [34], [36], [39]

Les palmiers sont connus avec quasi-certitude depuis la fin de jurassique. Adanson fut le premier, en 1750, décrit le palmier à huile, il le nomma Palmiste et le rattacha au genre “ *Cocos* ”. Cet élégant palmier, originaire d’Afrique intertropicale humide, est un lointain parent du cocotier.

Ensuite JACQUIN Vînt, auteur de son nom scientifique actuel, qui, en 1763 l’observait aux Antilles, il a pu mettre au point la description exacte de cette plante. *Elaeis* vient du mot grec “elaia” qui signifie olive, en raison de ses fruits riches en huile et *guineensis* rappelle que la plante avait été importée de Guinée à la Martinique.

Son foyer d'origine semble se situer le long du golfe de Guinée. De nos jours, les palmeraies « naturelles » ont, en général, une origine sub-spontanée. A cette dispersion naturelle ou sub-spontanée viennent s’ajouter les grandes zones de culture.

I.2 - SYSTEMATIQUE DU PALMIER [16], [34], [37]

Les milliers de variétés du palmier (environs 2800 espèces connues répartis en 226 genres) sont classés dans la famille de Palmacées. Les Palmacées sont divisées en six sous-familles dont Phytelphantoideae et Nypoideae sont endémiques des parties Nord de l’Amérique du Sud et qui ne se trouvent pas encore à Madagascar. Tandis que les quatre sous-familles restantes : Calamoideae ; Coryphoideae ; Ceroxydoideae et Arecoideae y sont recensées, environ 130 espèces à Madagascar.

Le palmier à huile fait partie de :

Règne : VEGETAL

Sous-règne : EUCARYOTES

Embranchement : ANGIOSPERMES

Classe : MONOCOTYLEDONES

Ordre : PALMALES

Famille : PALMACEES

Tribu : COCOÏNEAE

Genre : *Elaeis*

Espèce : *guineensis*

Nom vernaculaire : Zarina, Tsingilo



Figure 01: Représentation des différents organes du palmier à huile

On observe qu'à Madagascar, le genre *Elaeis* se présente sous deux variétés dont *Elaeis guineensis* et *Elaeis madagascariensis*. [16]

Notons que la famille de Palmacées comprend plus de 200 genres et 4 000 espèces. Madagascar en compte 18 genres et 120 espèces dont 118 sont endémiques, *Elaeis guineensis* constitue une des essences introduites et dont la culture a débuté en 1964.

On le désigne parfois sous le nom de « Palmier Eleide » ou de « Palmiste ». A Madagascar, son nom vernaculaire est « Zarina ». Les espèces voisines sont principalement présentées par :

✧ *Elaeis melanococca* ou *Elaeis oleifera* GAERTNER (1788): c'est l'analogue du palmier à huile en question, et parfois qualifié de palmier à huile américain, figure parmi les peuplements spontanés du Nord de l'Amérique Latine. En grandissant, il tend à s'incurver et à devenir partiellement rampant. Son intérêt particulier réside dans l'amélioration de l'*Elaeis guineensis* (faible croissance en hauteur de l'arbre et fluidité accrue de l'huile de palme extraite des fruits) ;

✧ *Elaeis madagascariensis* BECCARI (1914) : c'est un petit arbre poussant dans le Sud de Madagascar et sans intérêt économique.

Le fait que le palmier à huile appartient à la tribu des Cocoïneae montre la parenté assez étroite existant entre cette plante et le cocotier (*Cocos nucifera*).

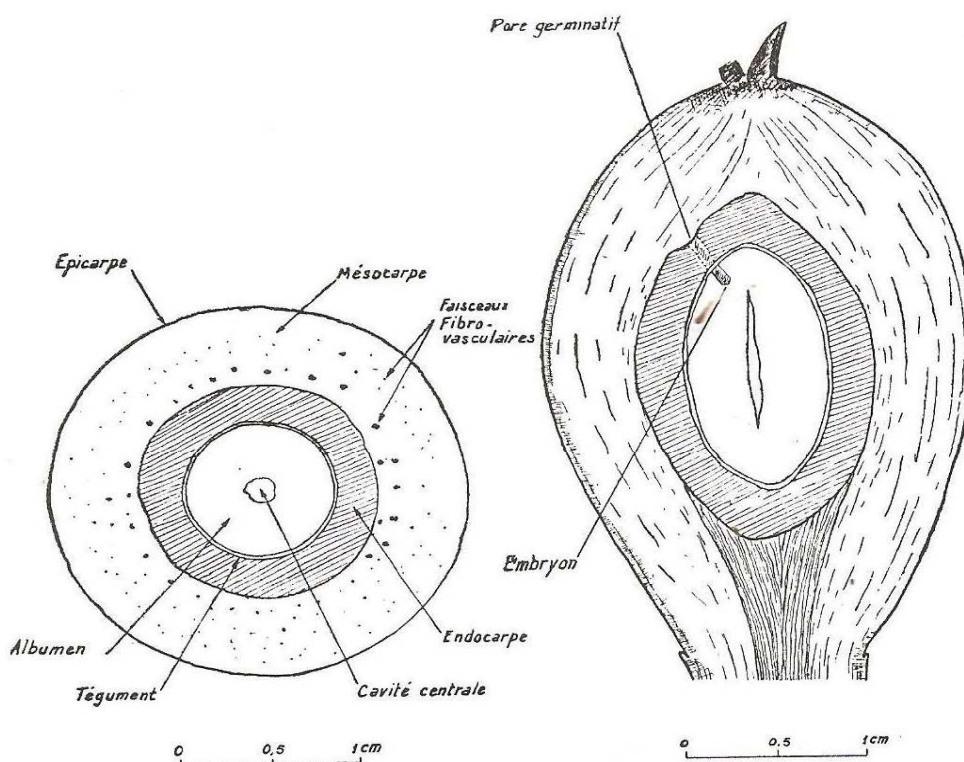
I.3- DESCRIPTION BOTANIQUE

Les palmiers sont des végétaux pérennes de grande taille. Mais ils ne sont pas des arbres au sens botanique du terme. On ne parle pas de tronc mais de stipe donc ce n'est pas du bois. Son stipe, qui peut atteindre 20 à 25 m de hauteur, est couronné de longues feuilles composées et décombrant entourant un bourgeon unique. Ses racines superficielles se développent considérablement suivant l'horizontal.

L'inflorescence, formée de fleurs groupées en épis, se localise à l'aisselle des feuilles. L'ensemble des épis constitue le spadice. Après fécondation, obligatoirement croisé même la plante est monoïque, le spadice femelle se transforme en régime. Ce dernier forme une masse globuleuse, de quelques kilogrammes 60 – 70 Kg, plus ou moins hérissée de fortes épines. Il se compose d'un support fibreux, la rafle, sur laquelle sont fixés 800 à 4000 fruits (65 à 70 % du poids des régimes frais).

Le fruit est une drupe sessile, ovoïde, de longueur 3 à 5 cm, plus ou moins ventrue, logée dans une cupule scarieuse et desséchée.

Les stigmates persistent au sommet sous forme de trois petites pointes noires crochues.



Coupe transversale d'un fruit

Coupe longitudinale passant par l'embryon

Figure 02: Coupe représentatif d'un fruit de palme d'après Desassis A.

La noix de palme ou endocarpe est formée par une coque dure, sclérifiée, riche en *silice* et d'épaisseur de 0,5 à 5 mm avec les côtes longitudinales.

Tableau 01: Caractéristiques des éléments constitués d'un fruit mur de *Elaeis guineensis*

ELEMENT		COULEUR	TAILLE	AUTRES CARACTERISTIQUES	
Péricarpe	Exocarpe (peau)	Rouge orangé	Très mince	Cutinisé, lisse, luisant	
	Mésocarpe (pulpe)	Jaune ou orangé	2 à 10 mm d'épaisseur	Fibreux, très huileux (huile de palme)	
Noix ou graine	Endocarpe (coque)		Noirâtre	0 à 8 mm d'épaisseur	Sclérifié, très dur, muni de 3 pores germinatifs
	Amande	Tégument	Blanchâtre ou jaunâtre, noirâtre en séchant	Très mince	Très adhérent
		Albumen	Blanchâtre	Presque la totalité de l'amande	Cartilagineux, très huileux (huile de palmiste)
		Embryon	Jaune verdâtre	4 à 5 mm de longueur	Droit, linéaire

I.4 - VARIETES DE LA COQUE DU PALMIER

D'après les travaux de VANDERWEYEN, on distingue quatre caractères génétiques pouvant se transmettre indépendamment les uns des autres dans les fruits : la formation d'une gaine charnue enveloppant le fruit, l'épaisseur de la coque, la pigmentation et la formation de caroténoïdes dans la pulpe à maturité.

La classification usuelle, dans la pratique, repose sur le caractère d'épaisseur de la coque du fruit. Le palmier à huile appartient à l'un des types de fruits suivants:

- le type *dura* à coque (endocarpe) épaisse de 2 à 8 mm. L'endocarpe constitue 20 à 25 % du poids des fruits ; le mésocarpe moyen représente 35 à 55 % de la masse, et peut atteindre 65 % dans la variété Deli. [5], [13]
- le type *tenera* à coque mince mesurant de 0,5 à 4 mm d'épaisseur (croisement entre le *dura* et le *pisifera* d'après deux chercheurs, BEINAERT et VANDERWEYEN en 1939) ; le mésocarpe moyen et le mésocarpe supérieur représentent 60 à 95 %.
- le type *pisifera* sans coque dont le fruit est théoriquement le plus intéressant mais la femelle est particulièrement ou complètement stérile.

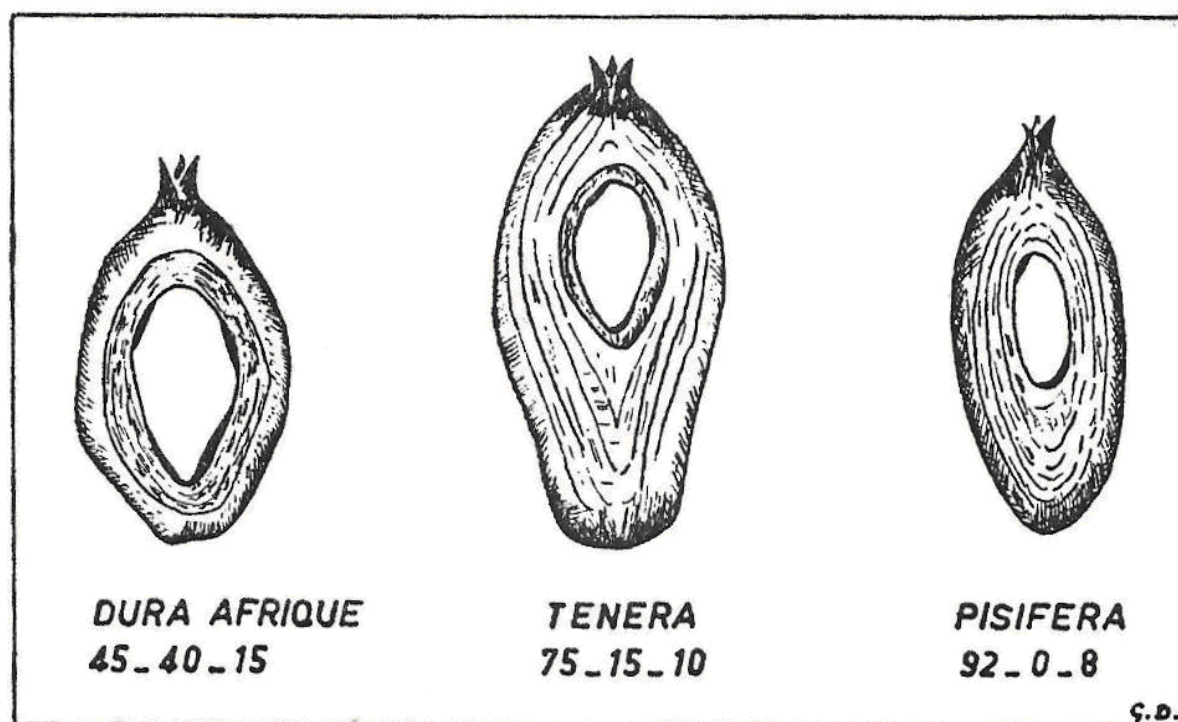


Figure 03: Schéma et composition moyenne des fruits dans les variétés *dura*, *tenera* et *pisifera*

Les trois nombres indiquent respectivement le pourcentage de pulpe, de coque et d'amandes.

A Madagascar, on rencontre les variétés suivantes:

- ✧ dura sélectionnée en Malaisie et en Indonésie ;
- ✧ pisifera sélectionnée en Côte-d'Ivoire ;
- ✧ tenera sélectionnée en Côte-d'Ivoire ;
- ✧ hybride *Elaeis melanococca* x *Elaeis guineensis* (particulièrement à la SOMAPALM) est une variété sélectionnée aussi en Côte-d'Ivoire ;
- ✧ et la variété *madagascariensis*.

Les quatre premières se rencontrent dans le domaine Est, en plantation industrielle (SOMAPALM, St Melville,...) et villageoises, ou comme plante ornementale aux bordures des routes et dans les cours.

Actuellement, chez les exploitants de cette filière à la vallée d'Ivondro d'une superficie totale de 1472,2 Ha, de la région d'Antsiranana ; quatre noms sont cités dont deux variétés anciennes cultivées entre 1965 - 1990 : *Tenera* et *Melanococca*; et deux autres introduites récemment, cultivées en octobre 2000 : *Deli avros* et *Deli ghana*. [16]

Les sélections réalisées uniquement sur le matériel génétique *dura* aboutirent à la fixation d'une race géographique : le *dura Deli* par consanguinité et par épuration. Le régime peu épineux, porte de gros fruits ayant la composition représentée par la figure suivante :

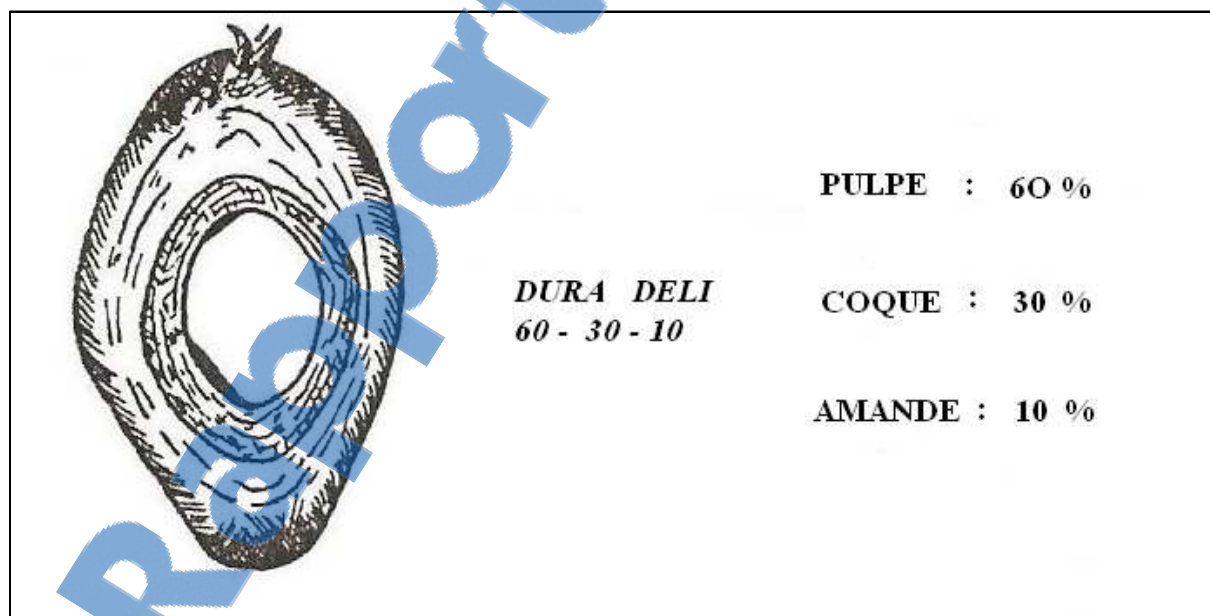


Figure 04: Schéma et composition moyenne de la coque d'un fruit de *dura Deli*

I.5 – ECOLOGIE DU PALMIER A HUILE [12], [28], [34]

Le palmier à huile a des exigences écologiques très délicates comme montrées dans le tableau ci-dessous. La zone favorable au palmier à huile est délimitée par la pluviométrie et par les températures minimales mensuelles qui doivent être supérieure à 18 °C.

A Madagascar, on pourra planter le palmier à huile sur les alluvions fluviales, sur les collusions de bas de pente (terrasses ou Tanety), sur les basses terrasses et sur les premiers versants des Tanety. On éliminera dans tous le cas les terres sableuses des cordons littoraux ainsi que les terrasses et les Tanety érodées.

Tableau 02: Les exigences du palmier à huile *Elaeis guineensis*

Facteurs Ecologiques	Température			Eau		Sol	Ensoleillement annuel	Altitude
	Moyenne annuelle	Moyennes mensuelles		Pluviométrie annuelle	Humidité relative			
		minimale	maximale					
Conditions optimales	25 °C	22,5 °C	31 °C	2500 -3000 mm bien répartie	80 - 85 %	profond de 80 cm au moins riches en matières organiques et minérales pH : 4 – 4,5	>1500h, bien réparti	<500 m

D'après OLIVIN J. en 1986, il n'existe probablement pas de seuil maximal pour les températures. Par contre, les faibles températures peuvent avoir un effet sur la physiologie du palmier et, par voie de conséquence, sur la production : regroupement d'une fraction élevée de la production sur une partie de l'année et même baisse des rendements. Cependant, les relations qui lient les températures aux phénomènes physiologiques ne sont pas connues avec précision.

La région d'Antalaha-Sambava bénéficie de la moyenne mensuelle des températures minima nettement plus élevées (au-dessus de 18 °C) tandis que les autres facteurs climatiques, pluviométrie, humidité, insolation, etc. sont très favorables à la culture du palmier à huile. Il y a plus d'un degré de différence avec Tamatave et plus de deux degrés avec Manakara.

Cette région présente des conditions proches de celles existant dans des zones à haute production ailleurs dans le monde. Le palmier à huile produit des régimes tout au long de l'année sous de telles conditions. Mais les basses températures, comme rencontrées dans l'exploitation de SOMAPALM, provoquent un arrêt de la production sur 4 mois de l'année.

I.6 - AIRE GEOGRAPHIQUE DU PALMIER [12], [4]

Le palmier à huile est originaire de l'Afrique intertropicale (golfe de Guinée). De tous temps, ce palmier a été exploité en économie de cueillette pour l'alimentation locale dans les pays d'Afrique.

Le palmier à huile est largement cultivé dans toutes les régions équatoriales d'Afrique et d'Asie du Sud-Est. Il est arrivé en Amérique du Sud au XVI^e siècle, apporté par les populations africaines destinées à l'esclavage.

Ce n'est qu'en 1911 que débutent les premières plantations à Sumatra, avec les Hollandais, puis en Malaisie, avec les Anglais, pour prendre leur essor à partir des années 60.

L'introduction à Madagascar remonte depuis longtemps, lors des premières peuplades d'origine africaines qui s'installaient sur la côte Ouest. La culture industrielle a été organisée depuis 1984. Seule la côte Est malgache répond aux critères écologiques du palmier à huile et ceci sur une profondeur de 20 à 30 Km d'Est en Ouest : de Manakara (au Sud) à Sambava (au Nord).

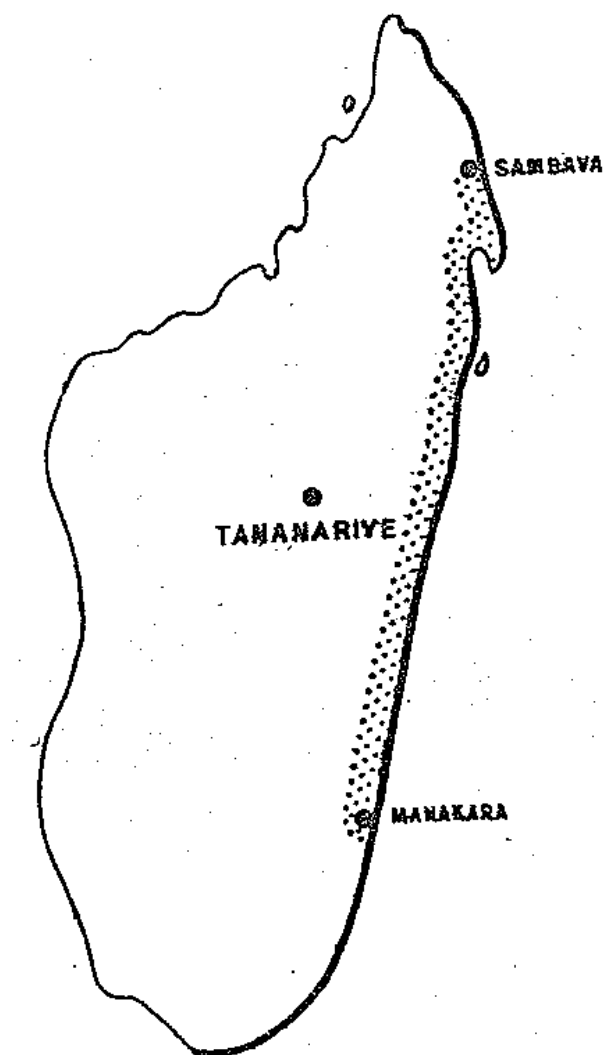


Figure 05: Aire de culture du palmier à huile à Madagascar (d'après P. Hubert)

I.7 - UTILISATION DU PALMIER A HUILE [34]

L'utilisation du palmier est très vaste. Dans l'impossibilité de pouvoir mentionner toutes les éventualités possibles, nous nous sommes contentés de donner quelques-unes.

Les palmiers, par leurs produits, sont aptes à couvrir tous les besoins de l'homme : nourriture, chauffage, matériel de construction, fibre à tisser, etc.

I.7.1- Les régimes

Ils sont usinés en vue de la production, à partir des fruits, des huiles (huile de palme et de palmiste). On peut noter que la production de ces huiles constitue le but principal de la culture du palmier à huile.

En outre, les autres éléments des régimes présentent tous des usages : rafles, coques, fibres issues des pulpes après extraction de l'huile de palme, et tourteau palmiste issu des amandes après extraction de l'huile de palmiste.

✧ **Rafles** : sont envoyées immédiatement au champ après égrappage pour y être compostés. Après fermentation, elles deviennent des engrais organiques. Il en est de même pour les boues solides. Les cendres de rafles incinérées permettent la fabrication d'engrais concentrés : 25000 tonnes de rafles peuvent produire environ de 400 tonnes d'engrais concentrés.

A partir des rafles, on peut préparer une pâte mi-blanchie utilisable, soit seul pour la fabrication de papiers du genre « bulle », soit en mélange (30 %) avec des pâtes de bois feuillus tropicaux, pour la production des papiers d'emballage (krafts) de qualité commerciale.

Les rafles se sont aussi révélées une matière première intéressante pour la fabrication de panneaux utilisables en construction et en menuiserie. Deux sortes de panneaux ont été obtenues : d'une part des panneaux fibreux, minces et durs, par une technique voisine de celle des cartons épais de l'industrie papetière ; d'autre part, des panneaux ligneux, du genre de ceux résultant de l'utilisation de copeaux ou de sciures de bois (et non de bois défibré). Dans les deux cas, les échantillons examinés ont été, dans des genres très différents, de bonne qualité et la seconde de ces techniques, qui permet d'utiliser aussi des troncs de palmier à huile (l'hors de la rénovation de palmeraies), présente de ne nécessiter que des investissements relativement modestes.

✧ **Coques et fibres** : servent directement de combustibles de chaudière dans l'usine au cours de son fonctionnement.

OGEDENGBE O. et al. Ont signalé l'emploi de la poudre de coques comme agent de filtration des eaux. Ils ont affirmé que ce matériel a une bonne capacité d'adsorption et élimine le goût, la couleur, la turbidité, l'acidité, et le fer des eaux provenant des puits, les rendant ainsi potables.

Notre étude conduit à une valorisation des coques dans les unités d'extraction artisanales comme à Manakara et dans la région de SAVA, dont les coques sont jetées dans la

nature sans être utilisées. Nous proposons de les utiliser dans les matériaux de construction en mélangeant avec des latérites pour avoir des briques stabilisées plus légères.

✧ **Tourteau palmiste** : est utilisé comme alimentation des animaux. Mais, il est spécialement réservé pour les ruminants grâce à sa teneur en cellulose 19 %.

I.7.2 - Le stipe et les feuilles

Le stipe fournit, après l'abatage de l'arbre, du charbon de bois, du bois de feu et de la pâte à papier. Tandis que les feuilles peuvent être employées pour la fabrication des paniers, chapeaux, nattes et toits.

I.7.3 - Le bourgeon terminal et la sève

Le bourgeon terminal ou chou palmiste est consommable crû en salade ou cuit. Après sa concentration, la sève permet la fabrication de mélasse ou de sucre de palme. La fermentation de la sève permet aussi d'obtenir de vin de palme et de vinaigre. Le Mémento de l'Agronome (1972) affirme qu'on peut fabriquer 5 à 10 litres de vin de palme par pied de palmier à huile non abattu et par an, et 35 litres de vin de palme par pied abattu.

I.8 - PLANTES OLEAGINEUSES

Le palmier à huile, qualifié parfois le "*Roi des oléagineux*", tient une place très importante du fait de ses multiples qualités :

- la capacité exceptionnelle de production : production d'huile par hectare plus importante, 3 ou 4 fois ou même plus d'huile à l'hectare qu'à ses concurrents directs (arachide, le soja, le cocotier, colza, tournesol,...);
- la seule plante oléagineuse exploitée industriellement qui peut produire deux huiles de qualité différente : huile de palme 80 à 90 % des huiles totales et huile de palmiste;
- l'exploitation ne nécessitant pas de pointe saisonnière d'activité c'est-à-dire tout en assurant au producteur un revenu régulier tout au long de l'année;
- la production qui s'étant sur une période très longue de 50 ans et plus. Cette production peut atteindre 5 à 6 tonnes d'huile (palme + palmiste) par hectare et par an dans des conditions écologiques favorables.

Les productions nationales d'huiles de palme et de palmiste connaissent un essor favorable. La production d'huile de palme brute dépasse largement celle de cotons et d'arachides raffinées.

I.9 - TECHNOLOGIE D'OBTENTION

D'une manière générale, l'obtention de ces deux huiles fait appel à deux usines différentes :

✧ l'huilerie de palme, conçue uniquement pour la production d'huile de palme et de palmiste (nom commercial des amandes sèches). A Madagascar, elle est représentée par l'usine d'extraction de la SOMAPALM à Tamatave, il y en avait une à Manakara mais celle-ci a cessée de fonctionner ;

✧ l'huilerie de palmiste, commune à d'autres graines oléagineuses comme le soja, le coprah, l'arachide..., permettant la fabrication d'huile de palmiste. Les producteurs de cette huile à Madagascar sont les usines de la SEIM à Antananarivo ou Société d'Exploitation Industrielle de Madagascar et celles du COREMA à Tamatave ou Comptoir de Récupération de Madagascar.

Mais, plusieurs sociétés se sont succédées pour gérer l'exploitation entre 1966 et 1992, sont entre autres la SAI, l'IRHO, la SOMAPALM, l'INDOSUMA et la SAVONNERIE TROPICALE ; en produisant des huiles brutes de palme. [16]

I.10 - DESCRIPTION DU PROCESSUS DE FABRICATION

I.10.1 - Huile de palme

L'huile de palme doit obligatoirement extraite de la pulpe du fruit frais. Le régime de palme donne environ 20 % d'huile de palme et de 5 % de palmiste. Le procédé d'extraction de l'huile à partir des fruits du palmier est représenté dans la figure ci-dessous (*Annexe I*).

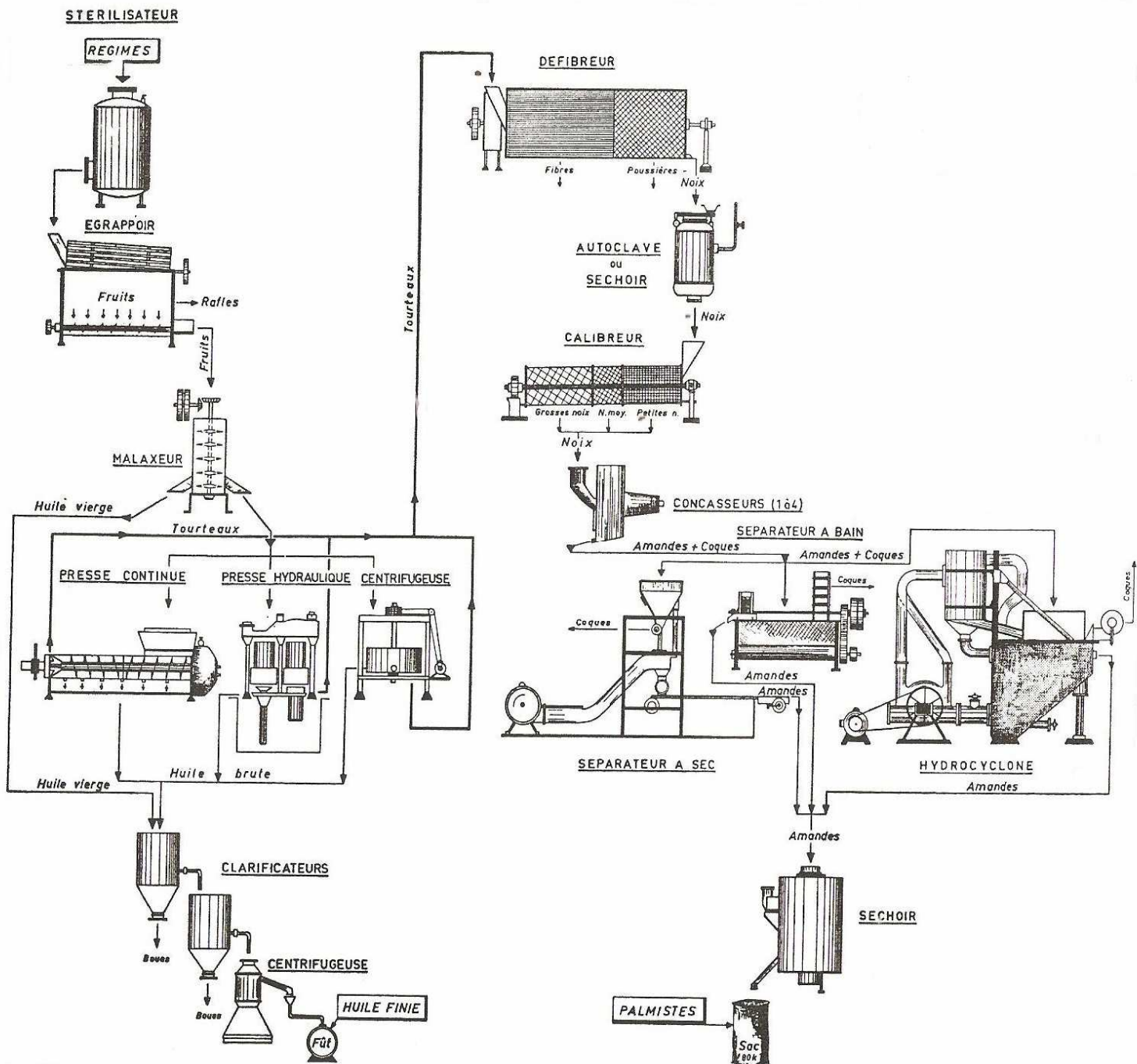


Figure 06: Représentation schématique des appareils de huilerie de palme

I.10.2 - Huile de palmiste

L'huile de palmiste est extraite à partir des amandes sèches ou palmistes. Ces derniers contiennent environ 50 % d'huile.

La fabrication de cette huile s'effectue en plusieurs étapes qui peuvent être décrites de la manière suivante :

✧ **Nettoyage :**

Il consiste à éliminer les impuretés entraînées avec les palmistes. Plusieurs appareils peuvent être utilisés : tamis, aspirateur, aimant.

✧ **Broyage :**

Il vise à réduire les palmistes sous formes de farine plus fine. Il s'effectue en deux temps : concassages, puis mouture du produit concassé. Les appareils utilisables sont les broyeurs à marteau, les broyeurs à cylindres cannelés, les broyeurs anglo-américains et l'aplatisseur à cylindres.

✧ **Conditionnement thermique :**

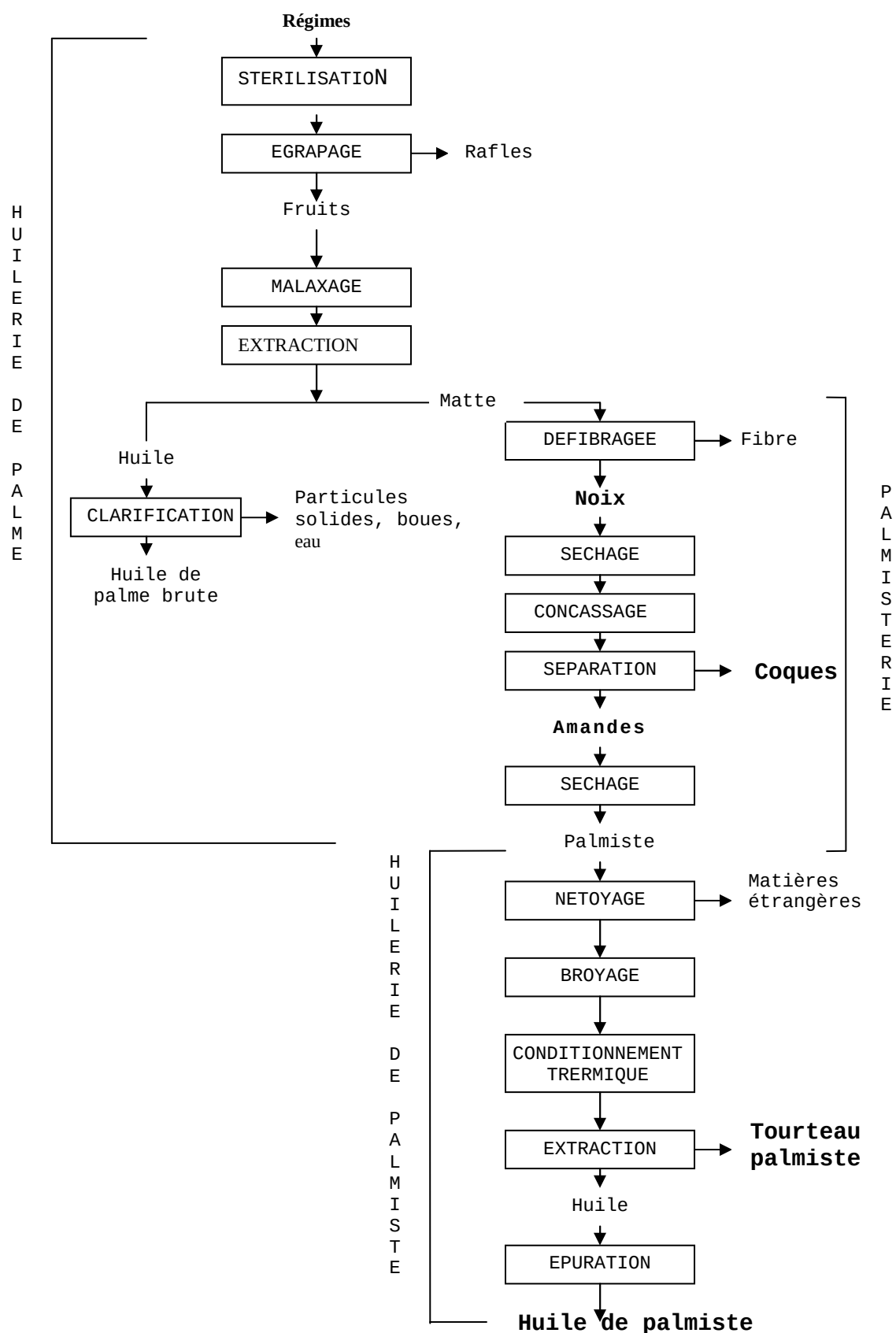
Cette opération permet d'obtenir les effets suivants : éclatement des cellules oléifères et humidification de la pâte résultante. Elle est réalisée dans un cuiseur à étages (ou chauffeoir) à une température de 70 - 80 °C pendant 90 mn au maximum. Le chauffage y est provoqué par des chemises à vapeur.

✧ **Extraction :**

Elle peut se réaliser de trois manières : pression simple à l'aide d'une presse continue à vis, extraction directe par solvant (hexane, essence légère de girofle...) à contre courant et procédé mixte combinant les deux cités auparavant.

✧ **Epuration :**

Elle a pour but d'éliminer les impuretés et les particules cellulaires entraînées avec l'huile. On peut utiliser les tamis et les filtres-presses.



Organigramme 01 : Schéma de la chaîne de fabrication d'huile de palme et de palmiste

I.11- CARACTERISTIQUES DES HUILES DE PALMISTE

I.11.1 - Propriétés physiques

Tableau 03: Propriétés physiques des huiles de palmiste et de palme de *Elaeis guineensis*

Propriétés	Huile de palmiste	Huile de palme
Couleur	Blanc ou blanc légèrement jaunâtre	Jaune orange claire à rouge orangé foncé
Odeur et saveur	Comme celle des noisettes et agréables	Caractéristiques et assez agréables
Consistance à la température ambiante	Graisse solide cassant	Graisse semi-solide (mais huile fluide pour <i>Elaeis melanococca</i>)

I.11.2 - Propriétés physico-chimiques

L'huile de palmiste est facilement saponifiable tandis que l'huile de palme est moyennement saponifiable.

L'huile de palmiste présente une fusion rapide bien que sa consistance soit plus cassante à la température ambiante.

Dans le cas de l'indice d'iode de l'huile de palmiste de *E. melanococca* x *E. guineensis*, MEUNIER J. et al ont conclu que si cet hybride provient du croisement entre *E. melanococca* femelle et *E. guineensis* mâle, son indice d'iode est plus proche de celui du parent américain, dans le cas contraire il est identique à celui de *E. guineensis*.

Tableau 04: Caractéristiques physico-chimiques des huiles de palme et de palmiste

Propriétés des huiles				Point de fusion	Densité à 40°	Indice de réfraction à 40°	Indice de saponification	Indice d'iode	% insaponifiable
Huile de palme	Limites habituelles de variation (<i>Elaeis guineensis</i>)			25-40	0,897-0,900	1,454 - 1,458	195 -205	45 - 58	0,5-1,2
	Variation suivant l'espèce, d'après NAUDET M. et al, FAULKNER H. et al.	<i>Elaeis guineensis</i>	Dura Deli	-	-	-	210	46,5	0,43
		Variété hybride		-	-	-	206	65	0,47
		<i>Elaeis melanococca</i>		-	-	-	206	79	0,78
Huile de palmiste	Limites habituelles de variation (<i>Elaeis guineensis</i>)			23-30	0,903-0,908	1,449-1,452	246-254	12-19	0,3-0,5
	Variation suivant l'espèce et la nature du croisement d'après MEUNIER J. et al	<i>Elaeis guineensis</i>	Dura Deli	-	-	-	-	13,7	-
		<i>Elaeis melanococca</i>	Monteria	-	-	-	-	27,4	-
		Hybride <i>Elaeis melanococca</i> x <i>Elaeis guineensis</i>	Monteria x La Mé	-	-	-	-	26,7	-
			Monteria x Deli	-	-	-	-	11,4	-

I.11.3 - Composition en acide gras

L'huile de palmiste de *Elaeis guineensis* est caractérisée par la proportion dominante en acide laurique et des teneurs assez élevées en acide myristique et oléique. Selon DIZIER J., elle est très proche de l'huile de coprah dont elle ne diffère que par une teneur deux fois moindre en acides gras très courts (C_6 à C_{10}), compensée par une teneur plus élevée en acide oléique.

I.12 - RAFFINAGE

Le raffinage constitue la « porte d'accès » des corps gras aux usages alimentaires. Il a pour but d'éliminer de l'huile les impuretés (mucilage, traces de métaux, etc.), les acides gras libres, la couleur, l'odeur et le goût.

La méthode de raffinage d'huile appliquée par la SOMAPALM comporte plusieurs étapes :

✧ **démucilagination** : elle se réalise dans un neutraliseur (cuve cylindro-conique verticale munie d'agitateur et de serpentín). Elle s'opère par addition de saumure à 10° Baumé ou chaude à 80 °C dans l'huile chauffée à 55 – 60 °C ;

✧ **neutralisation** : elle s'opère dans le même neutraliseur que la démucilagination. LA neutralisation des acides gras libres est obtenue par adjonction dans l'huile chaude caustique à 20 - 28° baume, la durée de contact est de 15 mn ;

✧ **décoloration ou blanchiment** : elle s'opère sous vide dans un décolorateur qui est une cuve verticale cylindro-conique calorifugée de laine de verre, et munie d'agitateur et de serpentín. L'huile chauffée à 140 °C est traitée par 3 % de terre décolorantes actives avec un temps de contact de 30 - 45 mn ;

✧ **désodorisation** : l'appareil utilisé est un désodoriseur qui est un décolorateur sans serpentín, dans lequel on distille sous vide poussé les matières odorantes de l'huile chauffée à 180 °C par injection de vapeur vive pendant 3 h.

Trois types de raffinage sont applicables à l'huile de palmiste : le raffinage à la soude, le raffinage physique (l'huile de palmiste de bonne qualité se prête bien à cette technique par l'absence de phospholipide et sa décoloration) et le raffinage à miscella.

Le raffinage de l'huile de palmiste diffère de celui de palme qu'il ne nécessite pas la démucilagination, la quantité de terres décolorantes employée est plus faible : de l'ordre de 0,5 - 0,7 %, et on ne sert pas de supervide au cours de la désodorisation.

I.13 – PRODUCTION A MADAGASCAR

De toutes les plantes oléagineuses, le palmier à huile fournit le plus haut rendement. Dans les régions humides d'Afrique Occidentales, celui-ci est d'environ 4,5 tonnes d'huiles par hectare et par an. Le principal producteur est la Malaisie (47 %), suivie de l'Indonésie (36 %).

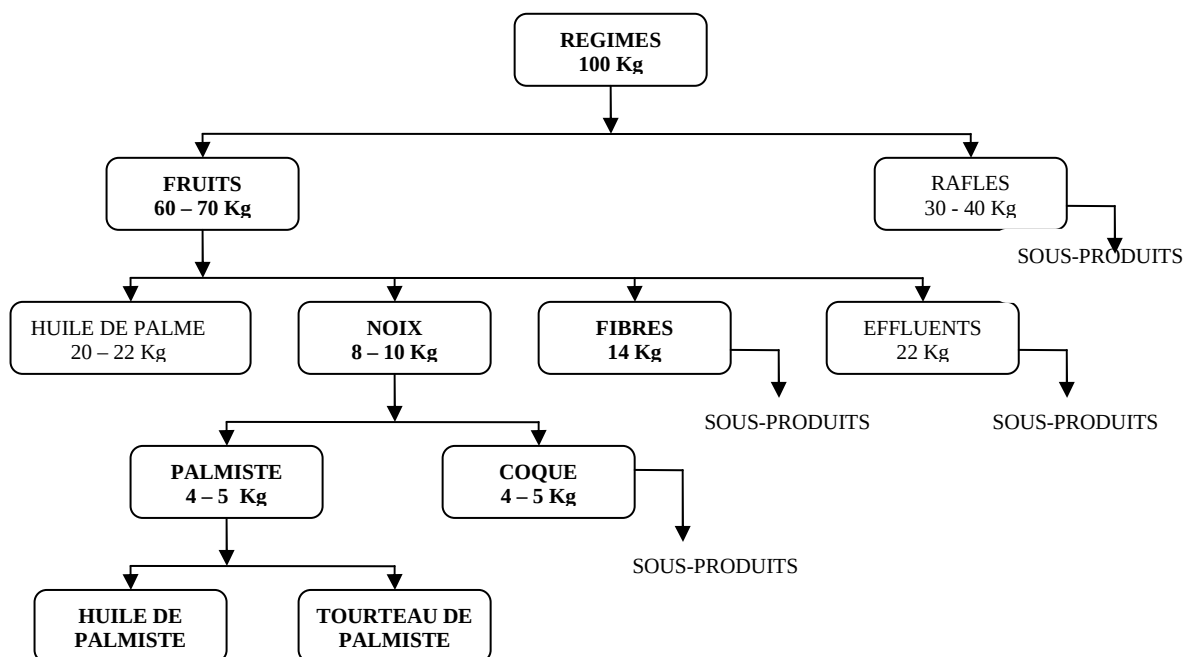
A Madagascar, le rendement atteint 8,3 tonnes par hectare d'après les données statistiques sur la production globale d'huile du palmier. Le tableau ci-dessous montre les productions nationales d'huile d'après quelques données statistiques. [10]

Tableau 05: Quelques données statistiques des productions à Madagascar

	Manakara	SAVA	Toamasina	Total
– Superficie total (Ha)	500	1250	1700	3450
– Superficie en exploitation (Ha)	150	1250	700	2100
– Rendement moyen (T/Ha)	03	12	10	8,3
– Production (T)	450	15000	7000	22450
– Rendement potentielle (T/Ha)	06	14	12	–
Possibilité d'extension :				
– Réhabilitation (Ha)	400	Nouvelle	1000	1400
– Extension (Ha)	200	plantation	500	700

Source : LEUNG CHOO François Ex cadre SOMAPALM, 1999

L'huile de palmiste est produite à partir des graines. Le rendement est bien moindre qu'en utilisant la pulpe du fruit. Schématiquement, l'apparition des produits après traitement industriel se présente comme ci-dessus. [28]



Organigramme 02 : Le rendement après traitement industriel des régimes

Chapitre II

GENERALITES ET RAPPELS SUR LES LATERITES

II. 1- DEFINITION [14], [23], [26]

Le mot latérite vient du nom latin « *later* » qui signifie brique. Un Anglais BUCHANAN (en 1807) a défini, pour la première fois, les latérites comme un matériau ferrugineux utilisé par les Indiens pour la fabrication des briques.

D'après la définition de MUKERJI, les latérites sont des terres très altérées qui contiennent des proportions importantes mais très variables d'oxyde de fer et d'aluminium, ainsi que du quartz et d'autres minéraux.

Selon AUTRET P., les latérites ont été définies par plusieurs auteurs comme étant des matériaux de structure vacuolaire, très souvent nuancés et de couleur variant de jaune au rouge plus ou moins foncé voire même noir. La couleur rouge est due, pour un large part, à la présence de 8 à 26 % d'oxyde ferrique, sous forme d'hématite à l'intérieur du réseau cristallin de l'argile.

RAZAFIMANDIMBY A. affirme que le terme latérite a été utilisé depuis le début de XIX^e siècle pour désigner à peu près tous les sols rouges ; la couleur rouge est due à l'accumulation du fer qui est l'élément chimique le plus facilement libéré lors de l'altération des roches soumises aux différents types de climat, en particulier dans la région tropicale ou équatoriale.

En 1957, RIQUER a défini la latérite comme étant composée d'une partie dure (roche) sous forme d'oxyde de fer et d'une partie tendre sous forme d'alumine, cette dernière partie étant susceptible de durcir par dessiccation lorsqu'elle est exposée à l'air.

II.2- FORMATION DES LATERITES

La latérisation ou formation des latérites est un long processus qui s'est exercé il y a de cela quelques millions d'années au cours duquel la roche mère s'altère. Elle est caractérisée par la mise en solution des éléments constitutifs de la roche qui sont soit entraînés par les eaux de circulation, soit recombinaison entre eux pour des minéraux argileux. Le lessivage de la roche mère entraîne le départ de la silice accompagné d'un enrichissement en fer et en alumine sous forme d'oxyde de fer (Fe_2O_3) et d'alumine (Al_2O_3). Ces sesquioxydes (Fe_2O_3 , Al_2O_3) après dessiccation et induration, constituent la latérite. Le phénomène d'altération de la roche mère se présente de deux natures: physique ou mécanique et physico-chimique. Les facteurs qui influent sur le phénomène de latérisation sont les suivants.

II.2.1- Le climat

Les grands écarts de températures journalières ou saisonnières associés au bilan hydraulique et à la prédominance de l'activité bactérienne conduisent à la destruction de minéraux argileux formés. Le processus s'arrête au niveau de la formation de ces minéraux argileux dans les régions tempérées.

II.2.2- L'eau

L'action de l'eau est primordiale sur le devenir du produit final. L'excès de l'eau entraîne un lessivage des éléments CaO, MgO, Na₂O, K₂O et la silice. Une déficience en eau conduit en une accumulation d'oxyhydroxyde principalement du fer et de l'alumine.

II.2.3- La topographie

L'accumulation d'eau, élément responsable de l'altération de la roche mère et de la coloration des latérites, dépend de la topographie. Sur la forte pente, la terre a une couleur plutôt rouge dû à la présence des oxydes de fer. Elle est plus proche de brun et du jaune que rouge dans la pente moyenne, due à la présence des oxyhydroxyde de fer de type goethite Fe₂O₃, H₂O ou limonite 2Fe₂O₃, 3H₂O. La latérite tendra vers le gris ou le noir en arrivant dans la zone plate.

II.2.4- Les roches mères

Le produit de l'altération varie avec la nature de la roche mère. Cette nature influe surtout sur la formation de l'argile, un des constituants de la latérite. Par exemple, si la roche mère est le basalte, l'argile constituant la latérite est la montmorillonite.

II.2.5- La végétation

Elle influe davantage sur la nature de l'eau qui est le principal agent d'altération. Elle se charge en acides organiques et en anhydre carbonique par la décomposition de l'humus.

II.3- INTENSITE DE LATERISATION

Elle est évaluée par la valeur du rapport moléculaire donnée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{\% \text{ en poids de SiO}_2 \text{ (combiné)}}{\% \text{ en poids d'Al}_2\text{O}_3 \text{ (combiné)}} \times 1,7$$

Exemple : $\rho = 2$ pour les kaolins et les argiles kaoliniques

$1 < \rho < 2$ pour les argiles latéritiques

$\rho \leq 1$ pour les latérites vrais

II. 4- CLASSIFICATION DES LATERITES

II.4.1- Classification de LACROIX

C'est une classification basée sur la teneur en minéraux latéritiques proposée par LACROIX (1923).

Tableau 06: Classification des latérites selon LACROIX

Classes	Teneur en minéraux latéritiques (oxydes, hydroxydes de kaolinites)
Latérites vraies	100 % à 90 %
Latérites argileuses	90 % à 50 %
Kaolinites et argiles latéritiques	50 % à 10 %
Kaolinites et argiles	Inférieure de 10 %

II.4.2- Classification des latérites selon MARTIN et DOYENNE, 1930

Cette classification est basée sur le ratio silice-alumine et plus tarde le ratio silice-sesquioxyde pour classer les sols latéritiques et non latéritiques.

$$Ki = \frac{SiO_2}{Al_2O_3}$$

$$Ki' = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

II.4.3- Classification pédologique

- * Les ferrisols : ils sont caractérisés par une prédominance d'argile kaolinique.
- * Les sols ferralitiques : riche en matières organiques avec une forte représentativité des gibbsites et de l'halloysite.
- * Les sols tropicaux ferrugineux : riches en kaolinites et ne contiennent ni de gibbsite, ni d'halloysite, ni d'allophane. Les matières organiques sont très rares.

II.5- CONSTITUANT DES LATERITES

* **Le fer** se présente soit sous forme de goethite (αFeOOH ou $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), soit sous forme d'hématite (Fe_2O_3), ou sous forme de magnétite (Fe_3O_4).

* **L'aluminium** se présente sous forme d'oxyde (corindon Al_2O_3). La gibbsite ou l'hydrargillite ($\gamma\text{Al}(\text{OH})_3$), sont les minérales les plus fréquents ; la boémhite (AlOOH) a été souvent moins reconnue et en moindre quantité. L'alumine existe aussi sous forme combiné à la silice dans la kaolinite ($\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4$) pour la demi maille.

* **Le silicium** est de fait, un constituant habituel sous forme combinée. Il se présente aussi sous forme de quartz.

* **Le titane** se trouve sous forme d'ilménite FeTiO_3 .

* **Le manganèse** apparaît sous forme d'oxyde en faible quantité.

II.6 – UTILISATION DES LATERITES [14], [18]

La latérite peut être utilisée dans plusieurs domaines même dans l'alimentation animale (apport des éléments minéraux comme le fer).

En tant que matériaux, la latérite est utilisée à la construction comme brique ayant un faible pourcentage de liant : latorex (mélange chaux-latérite comprimé traité à 100°C), ciment pouzzolanique (latérites calcinées en moyenne température 300 à 900°C), confection des murs traditionnels ou "Tambohon'ny Ntaolo", enduit traditionnel Malagasy (mélange des latérites, des sables et de la bouse de vache).

En agriculture, la latérite est utilisée comme engrais grâce à sa capacité de libérer rapidement des éléments nutritifs pour le sol. Elle a une capacité d'emmagasiner l'eau et les éléments fertilisants.

Dans le domaine routier, la stabilisation des latérites à la chaux permet de valoriser les sols argileux latéritiques.

En céramique, la latérite peut servir à la confection des briques réfractaires, des carreaux ou même de poterie où la couleur a une importance primordiale et a la synthétisation des zéolites.

II.7 - LA NORMALISATION ET CONSTRUCTION EN TERRE

L'utilisation du matériau latéritique est régie par des normes exigeant les caractéristiques et les performances pour prévenir d'éventuels dégâts inhérents à l'utilisation de ce matériau. [1], [14]

Récommandations de l'ONU (Inter American Housing and Planning Center: CINVA):

- * Résistance humide: 14 kg/cm^2
- * Perte au poids après 12 cycles de mouillage séchage :
 - constructions urbaines : 5 % pour tous climats ; 10 % en climat sec ;
 - constructions rurales modestes : 10 % pour tous climats.

Norme UBC (Union Building Code USA) pour l'adobe stabilisé :

- * Compression minimum : 24 kg/cm^2
- * Module de rupture minimum : 4 kg/cm^2
- * Absorption en 7 jours maximum : 2,5 % du poids sec.
- * Erosion : profondeur moyenne des trous 0,15 cm.
- * Teneur en eau maximum : 4 % du poids sec.
- * Fissures : pas de fissures plus de 3 mm et de 7,5 cm de long et pas plus de trois fissures par brique.

Recommandation pour l'adobe stabilisé (PEROU) :

- * Résistance à la compression :
 - $17,6 \text{ kg/cm}^2$: BON
 - $17,6 \text{ kg/cm}^2$ à 14 kg/cm^2 : LIMITE
 - $< 14 \text{ kg/cm}^2$: MAUVAIS
- * Module de rupture :
 - $> 3,5 \text{ kg/cm}^2$: BON
 - $< 3,5 \text{ kg/cm}^2$: MAUVAIS
- * Adsorption :
 - $< 2 \%$: EXCELLENT
 - 2 à 3 % : BON
 - 3 à 4 % : PASSABLE
 - $> 4 \%$: INSUFFISANT

REEF (CSTB) France 1945 pour terre damée stabilisée :

Résistance à la compression : 15 kg/cm

II.8 - LA STABILISATION DES LATERITES [1], [14]

D'après CRA Terre (traité de construction en terre, 1995), stabiliser la terre c'est modifier les propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes avec une application particulière.

La stabilisation a pour objectif d'obtenir de meilleures caractéristiques mécaniques en augmentant la résistance (à la compression sèche et humide, la résistance à la traction et au cisaillement), une meilleure cohésion, de réduire la porosité et les variations de volume (gonflement-retrait) et d'améliorer la résistance à l'érosion, du vent et de la pluie (réduire l'abrasion de surface et imperméabiliser).

Elle intervient sur la texture et la structure de la terre en agissant sur la porosité (réduction de volume des vides entre les particules), la perméabilité (colmatage des vides qui ne peuvent être supprimés) et la résistance mécanique (amélioration des liens entre les particules).

II.9 - LES TECHNIQUES DE STABILISATION [1], [22]

Il existe trois procédés de stabilisation des latérites qui peuvent être appliqués seuls ou en générale couplés.

II.9.1 - Stabilisation physique

Les propriétés d'une terre peuvent être modifiées en intervenant sur la texture : mélange contrôlé de fractions de grains différents. La stabilisation physique s'obtient par traitement thermique, par déshydratation ou gel, ou par un traitement électrique qui favorise un drainage de la terre lui conférant de nouvelles qualités structurales.

II.9.2 - Stabilisation chimique

C'est une modification de propriétés du matériau : des réactions physico-chimiques entre les particules et les matériaux ou le produit ajouté et la création d'une matrice qui lie ou enrobe les particules.

II.9.3 - La stabilisation mécanique

L'intervention se fait sur la densité, la compressibilité, la perméabilité, la porosité et la résistance mécanique.

II.10 - LES STABILISANTS [1], [14]

En général, les stabilisants sont des matériaux (liants) qui permettent une amélioration des performances physiques et mécaniques d'un matériau donné. Ils sont classés en deux catégories : les liants ou stabilisants minéraux et les liants ou stabilisants organiques.

Dans notre travail, nous n'utilisons que des stabilisants minéraux : le ciment et la chaux.

II.10.1- Les stabilisants minéraux

Ce sont des poudres de matériaux minéraux finement broyés, qui sont mélangés avec de l'eau, forment une pâte plastique qui fait prise et durcie.

Parmi les principaux liants minéraux, les plus répandus sont les ciments, les chaux, et les pouzzolanes. Mais plus tard, on peut aussi parler des silicates solubles et des ciments géopolymères. L'ajout de ces liants permet l'obtention de matériaux ayant une sensibilité à l'eau réduite et ainsi que des caractéristiques mécaniques améliorées.

II.10.1.1- Stabilisation au ciment

Le ciment est un liant hydraulique : il se combine bien à l'eau en donnant des composés hydratés stables qui leur confèrent une résistance mécanique. Il est constitué essentiellement de silicates et aluminates de calcium. Il est obtenu par la cuisson à haute température (1400 – 1450 °C) de mélanges dosés de calcaire et d'argile et se présente sous forme de poudres inodores, généralement grises. Le ciment tire leur principal domaine d'utilisation dans la confection de mortiers et de bétons ainsi que d'autres produits dérivés. A partir des différents types de ciment et en fonction de leur dosage, il est possible d'obtenir une infinité de bétons aux caractéristiques pouvant varier en fonction du type de ciment, de la nature et des caractéristiques des granulats, de leur mélange, des colorants, des adjuvants, de la mise en oeuvre, des traitements ultérieurs. Le béton peut s'adapter aux exigences de chaque réalisation par ses performances comme par ses aspects. Nous pouvons, à volonté, lui demander une résistance aux chocs, à l'usure, aux agents agressifs, ainsi que des caractéristiques de légèreté ou lourdeur, d'isolation thermique et/ou phonique, d'étanchéité, une durabilité accrue, un bel aspect...Il est présent dans tous les types de construction, qu'il s'agisse de logement, d'écoles, d'hôpitaux, de bureaux, d'usines, d'ateliers, d'espaces commerciales...Il est aussi présent dans de nombreuses applications routières et surtout dans de grands ouvrages d'art.

Le ciment est un bon stabilisant pour confectionner des briques de terre stabilisée et extrudées. L'addition de ciment améliore, même avant compactage, les caractéristiques du matériau, en particulier, la réduction de sa sensibilité à l'eau.

En particulier, l'incorporation de ciment dans le sol change sa granularité et la sensibilité à l'eau varie avec la teneur en ciment appliquée. Avant compactage, le mélange sol-ciment garde toujours les mêmes propriétés que le sol de même nature. Mais après compactage, le ciment rend irréversible le gain de résistance de compactage.

II.10.1.2 - Stabilisation à la chaux

Elle consiste à incorporer de chaux vive ou éteinte au sol ou au matériau à traiter. L'action de la chaux sur les fractions argileuses contenues dans le sol provoque la modification des liaisons entre les particules c'est-à-dire l'argile acquiert une structure floculée et les liaisons formées par réaction argile-chaux entraînent la formation de nouveaux cristaux qui viennent cimenter les grains du sol.

La terre acquiert une meilleure teneur en l'eau et devient ainsi moins plastique. Ceci entraîne l'augmentation considérable de la résistance à la compression.

II.10.2 - Les stabilisants organiques

Ces sont des liants hydrocarbonés ou des produits chimiques naturels ou artificiels d'origine organique susceptible d'agir sur la structure ou les propriétés hydrophiles du matériau à stabiliser.

Le tableau ci-dessous montre la résistance à la compression de quelques types stabilisants organiques et minéraux.

Tableau 07: Résistance à la compression des briques en latérites pour différents types des stabilisants [1]

Stabilisants	Résistance à la compression
Ciments	50 – 150 kg /cm ²
Bitume	15 – 60 kg /cm ²
Fibres végétales	5 – 20 kg /cm ²
Chaux	30 – 80 kg/cm ²
Produit chimique	20 – 40 kg/cm ²
Ionisation	20 – 40 kg/cm ²
Briques en terre cuite	21,5 - 57,5 kg/cm ²
Géo polymère	6 – 47 kg/cm ²

II. 11 - LES ADDITIFS

II.11.1 - L'argile

L'argile est une matière première terreuse susceptible de donner, une fois mélangée à l'eau, des pâtes plastiques qui sont à l'origine des produits en terre cuite. L'argile est généralement composée de silicate d'aluminium plus ou moins hydraté. Ses compositions sont l'oxyde d'alumine (40 %) l'oxyde de silice (46 %) et l'eau (14 %). La kaolinite $\text{SiO}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4$, la montmorillonite et l'illite constituent les minéraux les plus abondants dans les argiles.

Il agit sur les propriétés des liants structuraux à cause de ses caractéristiques : malléabilité en présence d'eau – durcissement à haute température. Il agit aussi sur la stabilisation du sol comme un additif : pour améliorer les qualités de cohésion et la dureté des sols dans le domaine du matériau. D'où une amélioration de la résistance et une meilleure stabilité à l'eau.

II.11.2 - Le lait

Le lait est un aliment très énergétique formé par un mélange complexe de matières grasses, protéines, riches en glucides et de sels minéraux. Il contient également des enzymes, des vitamines et de l'eau. Chaque animale a sa propre proportion en ses divers éléments. La caséine du lait est un produit qui a longuement montré son utilité dans plusieurs secteurs, notamment dans l'industrie de la peinture, du papier et du textile.

II.11.3 – Le blanc d'œuf

Le blanc d'œuf contient 1 à 2 % de corps gras, 12 % d'alumine et 85 % d'eau. C'est un composé très maigre qui ne contient que peu de matière grasse, mais très visqueux et onctueux. L'albumine, par sa structure, est coagulable sous l'action de la chaleur. En mélangeant avec la chaux, elle forme une masse de pâte très dure utilisée comme ciment pour réparer les poteries cassées.

Il est utilisé depuis longtemps comme adjuvant grâce sa capacité d'apporter de la fluidité aux pâtes, étant donné sa charge en eau.

II.11.4 – Adjuvant hydrofuge

Il peut améliorer le comportement de la brique vis-à-vis de l'eau. Le Néantol d'Italie est l'adjuvant le plus utilisé à Madagascar et il est vendu dans les quincailleries d'Antananarivo. Une petite quantité de ce produit (2 %) peut être utilisée avec grande quantité de ciment ou de sol.

II.11.5 - L'ail ou *Alium sativum*

C'est une plante à bulbe de la famille des Liliacées comme condiment. L'ail contient 60 à 65 % d'eau, 10 à 27.5 % de glucides, 3 % de fibres et 6 % de protéines. Il contient aussi des minéraux tels que le potassium, le soufre, le phosphore, le magnésium, le chlore, le sodium et quelques oligoéléments. En détruisant la cellule (découpé, broyé), plusieurs réactions chimiques se déclenchent en donnant des nouveaux composés chimiques dont l'allicine. En chauffant l'allicine, un mélange de molécules soufrées se forme comme l'ajoène qui est un anticoagulant.

II. 12 – METHODE DE STABILISATION

II. 12.1 - Densifier

Pour densifier la terre, on a deux façons différentes : la première consiste à manipuler mécaniquement le sol pour évacuer le maximum d'air en pétrissant et en comprimant la terre et la seconde permet l'introduction d'autres grains pour combler le maximum de vide.

II.12.2- Armer

Le but est d'introduire une armature généralement constituée de fibres d'origine végétale (paille), animale (poils, bouse), minérale ou synthétique (fibres) dans la latérite pour créer un réseau de fibres omnidirectionnel. Ce dernier améliore la résistance à la traction et au cisaillement de la terre et contribue aussi à réduire le retrait.

II.12.3 - Enchaîner

C'est l'introduction d'une matrice tridimensionnelle inerte et résistante qui va s'opposer à tout mouvement du sol. Il s'agit d'une mouvement de consolidation par cimentation qui résulte du remplissage des vides par un liant insoluble capable d'enrober les particules dans la latérite.

II.12.4 - Lier

Pour se faire, il y a deux mécanismes :

- ° une matrice inerte est formée par les argiles. On utilise les charges négatives et positives des plaquettes argileuses ou leur composition chimique pour les lier entre elles par l'intermédiaire d'un stabilisant, celui-ci jouant le rôle de catalyseur de cette liaison;

◦ une matrice inerte est formée avec les argiles ; un stabilisant qui réagit l'argile et forme un nouveau matériau insoluble et inerte par précipitation ; c'est une réaction pouzzolanique obtenue avec la chaux. Cette réaction est lente et essentiellement dépendante de la qualité et de la quantité de l'argile.

II.12.5 - Imperméabiliser

C'est la réduction de l'eau de gonflement par retrait pendant le cycle répété moulage-séchage. L'imperméabilisation se fait par deux moyens :

- remplissage d'une manière sensible à l'eau de tous les vide ou les pores et les fissures.
- Une matière est dispersée dans la terre qui au moindre contact avec l'eau va gonfler et obstruer les accès aux pores.

II.12.6 - Hydrofuger

On modifie l'état de l'eau interstitielle et on réduit la sensibilité des plaquettes d'argiles à l'eau. Ce moyen qui fait intervenir des produits chimiques résine ou acide aminé quaternaire, chlorure de sodium) et l'échange ionique contribue à l'élimination au maximum de l'absorption et l'adsorption de l'eau.

II.13 - CARACTERISATION DES LATERITES STABILISEES

La détermination des caractéristiques des blocs de terre comprimée est basée sur l'étude des relations entre la structure et les propriétés des matériaux. Le but des différents tests que nous allons citer ci-dessous est de déterminer certaines performances et propriétés des matériaux, afin de leur attribuer des utilisations qui leur sont convenables et adéquates.

II.13.1 - La résistance à la compression R_c

La résistance à la compression se traduit par la charge limite par unité de surface à laquelle la brique peut résister sans être écrasée. Elle est donnée par la formule suivante :

$$\text{résistance à la compression en bar} \rightarrow R_c = \frac{F_{\max}}{S}$$

$F_{\max}$ ← charge maximale supportée en daN
 S ← surface du bloc étudié en cm^2

On fait le test après 28 jours de séchage à l'air libre. La résistance à l'écrasement à l'état sec est effectuée sur la brique séchée. Pour la résistance à la compression à l'état humide, on immerge dans l'eau le bloc à étudier pendant 24 heures avant l'écrasement.

II.13.2 - Résistance à la traction (R_t)

C'est la charge limite par unité de section que le matériau peut supporter sans rupture. Elle se déduit de la formule R_c .

$$\text{résistance à la traction en bar} \rightarrow R_t = \frac{R_c}{10} \leftarrow \text{résistance à la compression en bar}$$

II.13.3 - Résistance au cisaillement

C'est la sollicitation conventionnelle correspondante à la rupture de l'éprouvette soumise à un essai de flexion.

$$\text{résistance au cisaillement en bar} \rightarrow R_{cis} = \frac{10 \times R_c}{3} \leftarrow \text{résistance à la compression en bar}$$

II.13.4– Test de porosité

C'est la détermination du poids d'eau qui occupe les vides dans un bloc. On immerge les blocs à étudier dans l'eau pendant deux jours (48 heures). C'est le rapport de la différence de poids avant et après l'immersion qui détermine la porosité.

Elle est définie par la relation suivante :

$$P = \frac{P_e}{P_s} \times 100 \quad \Rightarrow \quad P = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Avec **P** : la porosité (%)
Pe : le poids d'eau (g)

Ph : le poids humide après immersion (en g)
Ps : le poids sec du bloc avant immersion (en g)

II.13.5 – Retrait (r) ou test d’Alcock

On mesure la longueur avant et après le séchage du matériau et la différence entre ces longueurs marque le retrait d’un matériau. Il est exprimé en pourcentage et donné par la formule suivante :

$$\text{retrait en \%} \rightarrow r = \frac{L_i - L_f}{L_i}$$

L_f ← longueur finale du bloc à l’état sec en cm
 L_i ← longueur initiale du bloc à l’état humide en cm

II.13.6 - Test d’érosion

C’est un test similaire d’une face d’un bloc exposé à la pluie artificielle. L’arrosage est réalisé à l’aide d’une pompe maintenant à une pression constante de 1.4 bar, positionnée en amont d’une pomme d’arrosor de diamètre placée à 20 cm du bloc testé.

Le jet est fixé et maintenu perpendiculairement à la surface du bloc, de pression contrôlée au manomètre. On mesure ensuite les profondeurs des trous d’érosion et on considère la moyenne des plus grands trous mesurés sur chaque bloc.

Le test de résistance à la compression est réalisé, au Bloc Technique à Ankatso, par la machine TESTWELL.



Figure 07: Appareil de mesure des résistances à la compression (Machine Testwell)

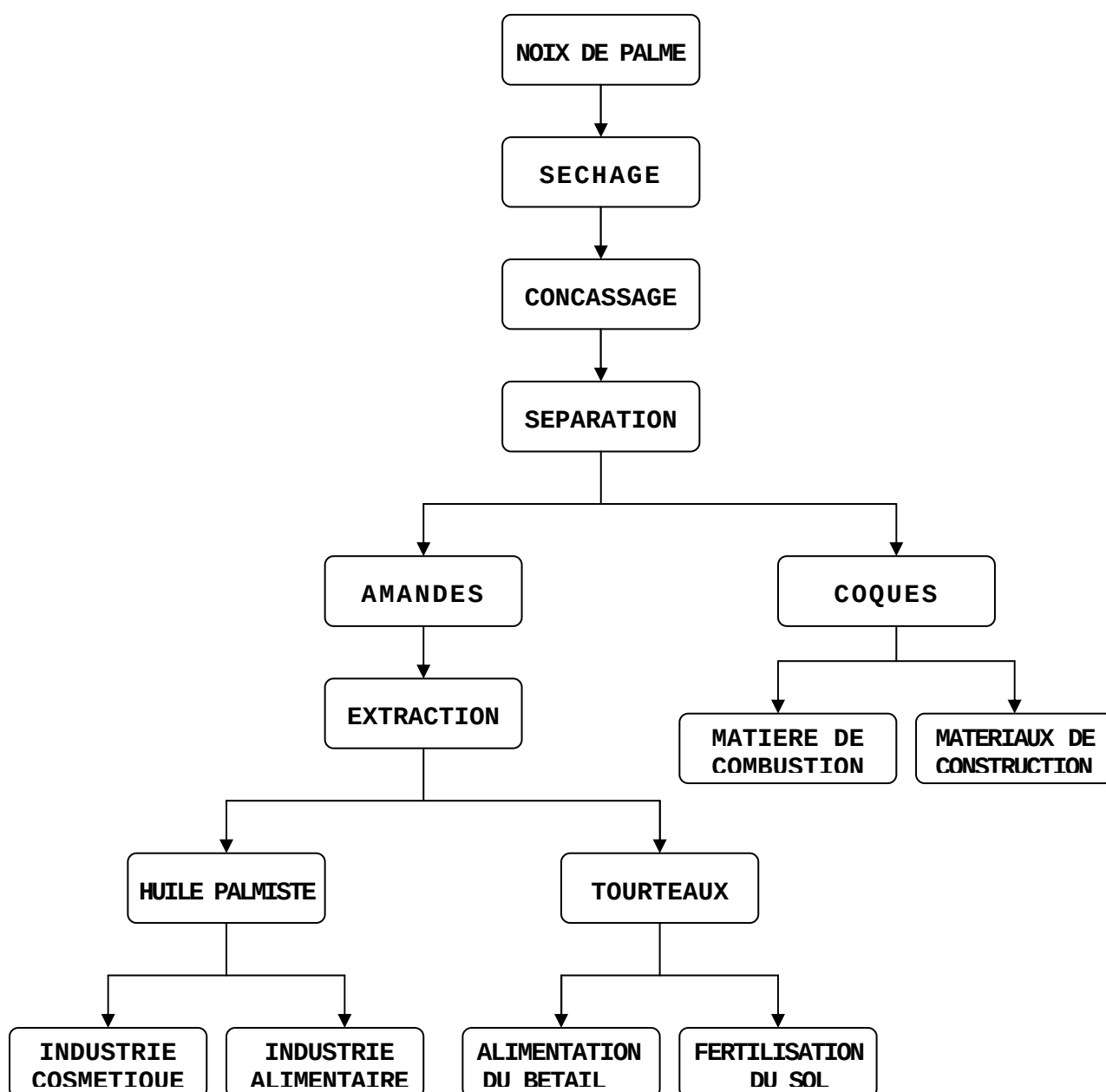
Deuxième partie

Étude expérimentale

INTRODUCTION

La noix palmiste est le noyau en bois du fruit de palme. On en trouve souvent à l'abandon. Elle peut être valorisée pour en extraire de l'huile.

Notre travail amène à la valorisation des noyaux de palme abandonnés après l'extraction artisanale de l'huile de palme afin d'atteindre l'objectif de la politique environnementale : la « **Pollution Zéro** ». Dans cette expérience, nous allons, en premier lieu, étudier l'huile palmiste et les tourteaux et en second lieu, valoriser les coques en les mélangeant avec les latérites en présence des liants. Pour cela, voici un schéma simplifié de la valorisation de noix de palme.



Organigramme 03 : Schéma simplifié de la valorisation de noix de palme

Chapitre I

VALORISATION DES AMANDES PALMISTES

I.1- HUILE DE PALMISTE

Après l'extraction de l'huile de palme, la noix de palme a un noyau dont la contenance en huile est très importante. L'amande se trouve dans la noix de palme contenue dans le fruit de palme lui-même. C'est la partie la plus chère des fruits de palme. La qualité de l'huile palmiste est très bonne et sa vertu est très recherchée dans l'industrie cosmétique, l'agro-alimentaire, la savonnerie,...

I.1.1 - Concassage du noyau de palme

Les noix de palme, qui contiennent l'amande, constituent les résidus principaux de l'extraction de l'huile de palme. Elles sont traditionnellement séchées au soleil.

Pour ôter cette amande de sa coque, il faut concasser la noix. Dans notre étude pratique, le concassage se fait manuellement à l'aide d'un marteau. Un concassage noix par noix est très éprouvant à cause de la quantité à transformer d'où la nécessité d'un concasseur. Nous avons pensé à l'échelle artisanale, à la fabrication d'un concasseur construit en mécano-soudure, actionné par un moteur thermique en milieu rural ou un moteur électrique en milieu urbain.

D'après Hartley (1977), un concasseur tournant à 2000 – 2500 tour par minute et d'une capacité de 0,75 tonne de noix par heure, nécessite l'utilisation de moteur d'environ 2,2 Kw.

Après le concassage de noix de palme, à partir de 6 kg de noyau, on a 1,815 Kg d'amandes soit 30,25 % et 4, 011 Kg de coques de palme.

I.1.2 - Extraction de l'huile d'amande

Après avoir recueilli les noyaux de palme, notre expérience a commencée par l'extraction de l'huile à partir de ces noix palmistes.

Après le concassage, on procède à la séparation des amandes des coques pour passer au broyage des amandes ainsi libérées. Le broyage se réalise par un broyeur à marteau et la production d'huile palmiste dans un presse hydraulique.

Pendant l'expérience, nous avons pratiqué l'extraction par pression et l'extraction par solvant volatil. Ce dernier ne présente pas d'intérêt économique à cause du prix élevé du solvant (hexane) et de la durée d'extraction longue, mais le rendement est très bon.

L'extraction par pression peut se faire en deux manières : pressage à froid et pressage avec chauffage.

I.1.2.1 - Pressage à froid

Après broyage, les amandes sont versées directement dans un moule et pressées à l'aide d'une presse hydraulique de force de 60 tonnes muni d'un levier qui sert à augmenter la pression. L'huile qui en sort est recueillie dans une cuvette ; le tourteau reste dans le moule et il contient encore de l'huile.

L'huile extraite par cette technique est appelée “ **huile vierge** ” et très recherchée dans l'industrie cosmétique. Par cette technique, le rendement est un peu faible, de l'ordre de 30 %, mais l'avantage est l'obtention de l'huile de bonne qualité.

I.1.2.2 - Pressage avec chauffage

Les amandes sont mises dans une grande marmite sur un feu vif, on n'ajoute pas de l'eau. On remue les amandes à l'aide d'une palette en bois ou en métal jusqu'à ce que les cellules éclatent (dégagement d'une fumée âcre et noire).

Le grillage se fait environ en une heure de temps. Les amandes de palmistes doivent être suffisamment grillées, dès qu'une fumée noire apparaît, il faut presser la matière. Ne pas faire carboniser les amandes qui seraient alors inutilisables. On verse les amandes dans le moule, on presse, sans grange poussée, et l'huile s'écoule en abondance. Il ne reste dans le moule qu'un mince tourteau.

Une autre méthode d'extraction de l'huile palmiste consiste à les extraire des coques dures, à les tremper et à les broyer en fine mouture avant de faire tremper le produit moulu dans l'eau chaude pendant une nuit. L'huile brute qui surnage est immédiatement écumée. Ensuite, elle est clarifiée en chauffant pour provoquer l'évaporation de l'eau résiduelle.

I.1.3 - Purification de l'huile

L'huile obtenue après l'extraction est sale et contient des impuretés, il faut donc l'épurer. Il y a deux manières de le faire.

I.1.3.1 - Procédé chimique

Le procédé chimique est simple et sans danger avec quelques précautions. On ajoute à l'huile produite, 5 g de lessive caustique à 20° baumé pour 1 L d'huile palmiste. On chauffe légèrement à 50 °C. On remue lentement, presque immédiatement les saletés se déposent et couvrent le fond du ballon.

I.1.3.2 - Procédé naturel

On dépose au soleil sans ajout quelconque, d'autre produit pendant 3 à 4 jours, le résultat est également excellent mais le processus est lent et n'est valable qu'en saison sèche. L'huile obtenue, après épuration par l'un ou l'autre des deux procédés, est excellente.

I.1.4 - Analyse physico-chimique de l'huile

L'huile de palmiste est concrète à la température de 15 °C : son point de fusion est généralement compris entre 23 et 30 °C. Lorsqu'elle provient de l'amande de bonne qualité, elle possède, à l'état liquide, une couleur jaune clair, devenant presque blanche après solidification. Sa saveur et son odeur sont celle de la noisette.

L'analyse physico-chimique d'une huile est basée sur la détermination de la densité relative, du pouvoir réfracteur et de quelques indices chimiques. Le tableau suivant montre les valeurs obtenues après l'expérience au laboratoire.

Tableau 08: Les valeurs des caractéristiques physico-chimiques de l'huile palmiste

Caractéristiques physico-chimiques	Densité relative	Indice de réfraction	Indice de saponification	Indice d'acide
Huile palmiste	0,907	1,445	247	19,89
Huile de coprah (à 40 °C)	0,907 – 0,909	1,448 - 1,450	255 - 566	-

Il résulte de cette analyse que son indice de saponification est très élevé (247) comme celui de l'huile de coprah. La valeur expérimentale de la densité (0,907) et de l'indice de réfraction est incluse dans la limite habituelle de variation de palmier qui est énoncée dans la partie bibliographique.

I.1.5 - Analyse des acides gras par chromatographie

La détermination de la composition des acides gras contenu dans l'huile de palmiste se fait par l'analyse chromatographique en phase gazeuse (CPG). Avant l'injection de l'échantillon dans l'appareil, l'huile doit subir des traitements préliminaires pour éliminer les insaponifiables. L'huile préparée est ensuite méthylée pour le rendre plus volatile (*annexe II*). Le spectre suivant montre le résultat de l'analyse

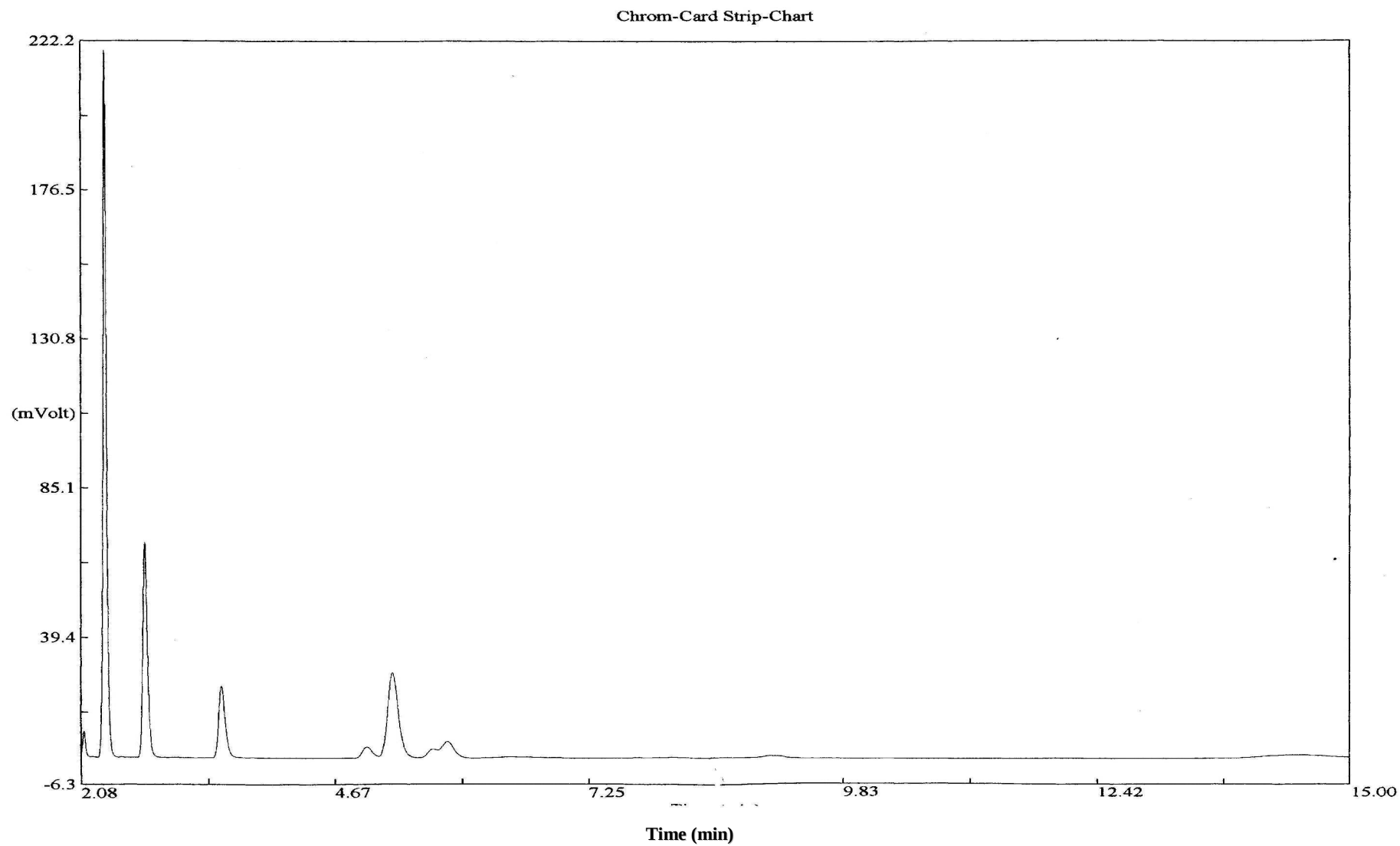


Figure 08 : Profil chromatographique de l'huile palmiste par CPG

Le tableau suivant montre le pourcentage des acides gras présent dans l'échantillon après l'analyse par chromatographie en phase gazeuse.

Tableau 09: Composition des acides gras de l'huile de l'amande palmiste par CPG

Acide gras	Formule	Valeur expérimentale (%)	Valeur d'après SURRE et ZILLER (%)	Huile de coprah
- acide caprylique	C8 : 0	-	3	6 - 10
- acide caprique	C10 : 0	1,28	3 - 7	5 - 10
- acide laurique	C12 : 0	43,53	45 - 52	39 - 54
- acide myristique	C14 : 0	17,74	14 - 18	15 - 23
- acide palmitique	C16 : 0	8,67	6 - 9	6 - 11
- acide stéarique	C18 : 0	2,11	-	1 - 4
- acide oléique	C18 : 1w9	16,74	10,50 - 18	4 - 11
- acide linoléique	C18 : 2w9	3,98	-	1 - 2
- acide nonadécanoïque	C19 : 0	0,47	-	-
- acide arachidique	C20 : 0	0,15	-	< 0,2
- acide docosanoïque	C20 : 0	2,46	-	-

L'échantillon analysé est constitué essentiellement par les acides gras saturés dont l'acide laurique se trouve à 43,5 % des composés identifiés. Les seconds constituants dominants sont l'acide myristique et l'acide oléique qui est un acide insaturé dont la teneur est respectivement 17,74 et 16,74 %.

Les acides gras sont les constituants majoritaires entrant dans la composition des lipides. Ils sont sous forme combinés avec les glycérols et sont rarement trouvés à l'état libre dans le règne vivant. On distingue les acides gras saturés, les monoéthyléniques et polyéthyléniques.

I.1.6 – Utilisation de l'huile de palmiste

L'huile obtenue a sensiblement les mêmes utilisations que celle de coprah dont elle diffère relativement peu (huile de coprah renferme un peu plus d'acides volatils de bas poids moléculaire). Son principal débouché est donc, après raffinage, l'alimentation : fabrication de margarines, de graisses végétales et de graisses à incorporer au chocolat. Par sa bonne qualité et sa vertu, on l'emploie dans la cosmétologie et aussi en savonnerie où elle permet, en raison de sa teneur en acides laurique et myristique, l'obtention de produits doués de bonnes propriétés moussantes.

I.2 – TOURTEAU DE PALMISTE

I.2.1 – Teneur en protéines totales

Le tourteau de palme contient, après l'extraction à froid de l'amande, une petite quantité de l'huile. Avant de déterminer la teneur en protéines, il est nécessaire de faire un traitement préliminaire. Comme l'huile n'est pas tout à fait extraite de tourteau, on procède à la délipidation.

I.2.1.1 – Délipidation du tourteau

* **Principe :**

On a pratiqué l'extraction par le solvant organique, le n- hexane, dans lequel la fraction lipidique est soluble, à l'aide de l'appareil soxhlet. Le solvant d'extraction est par la suite évaporé sous pression réduite. Après extraction, l' hexane sera évaporé au rotavapor à 45 °C sous pression réduite.

* **Mode opératoire:**

Deux prises d'essai avec la même quantité d'échantillon ont été effectuées pour chaque matière première. 5g d'échantillon ont été introduits dans une cartouche en cellulose sans trop tasser avec une espace libre d'au moins 5 mm à la partie supérieure. Dans cette partie supérieure, aussi bien qu'inférieure, nous avons introduit un tampon de coton hydrophile dégraissé et la cartouche a été suspendue dans l'appareil d'extraction.

L'hexane a été ensuite versé dans l'entonnoir supérieur du réfrigérant jusqu' au tiers environ soit $\frac{2}{3}$ du ballon et passé dans un ballon contenant des billes de verre. L'extraction dure 12 heures. L'évaporation a été finalisée par étuvage et séchage dans un dessiccateur et les lipides récupérés ont été pesés.

* **Expression du résultat:**

La teneur en lipide restant du tourteau est donnée la formule suivant :

$$L\% = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100$$

Avec

m_2 : poids du ballon et des lipides récupérés

m_1 : Poids vide du ballon

m_0 : Poids de la prise d'essai

La valeur obtenue à la fin de l'expérience est de $L\% = 21,17 \%$. Cela veut dire qu'il y a 21,17 % de lipides restant dans le tourteau après l'extraction à froid de l'amande palmiste.

I.2.1.2 - Détermination de la teneur en azote

La teneur en azote se détermine par la méthode de KJELDALL.

* **Principe :**

Elle consiste à la minéralisation de l'azote par action oxydative de l' H_2SO_4 concentré en présence d'un catalyseur suivi de la distillation de minéralisât. L'ammoniac libéré du sulfate d'ammonium par alcalinisation et distillation est recueilli par l'acide borique contenant un indicateur et est titré par l'acide sulfurique dilué.

* **Mode opératoire :**

Deux prises d'essai avec la même quantité d'échantillon ont été effectuées pour chaque manipulation. Le dosage a été fait en trois étapes :

✧ **La minéralisation** : Une quantité de 0,25 g d'échantillon a été introduite dans chaque matras et additionnée de 10 ml de H_2SO_4 concentré et de $\frac{1}{4}$ de tablette de catalyseur. Cette étape dure 3 heures ou plus selon l'échantillon. Elle est terminée lorsque une solution limpide est obtenue.

✧ **La distillation** : Le minéralisât ainsi que l'eau de rinçage du matras ont été transvasées dans le tube du distillateur. Un bécher contenant 10 ml d'acide borique 4 % ainsi que gouttes de Tashiro a été placé au dessous du tuyau évacuateur du distillat. La distillation dure 5 minutes.

✧ **La titration** : Le distillat recueilli dans le mélange d'acide borique et de réactif de Tashiro est titré par l' H_2SO_4 0,01 N jusqu' au virage de couleur du vert limpide au violet clair. Le volume de H_2SO_4 0,01 N nécessaire pour le dosage a été noté.

* **Résultat de l'expérience :**

La teneur en azote totale est donnée par la formule suivante :

$$\text{N\%} = \frac{V_1 \times 0,01 \times 0,14}{M} \times 100$$

V_1 : Volume en ml de l' H_2SO_4 0,01 N ayant titré le distillat

M : masse en gramme de la prise d'essai

D'après le calcul, on a $\text{N\%} = 2,296 \%$ qui correspond en azote total présent dans le tourteau de palme étudié.

Le pourcentage de protéines totales $\text{P\%}$ a été obtenu par multiplication du pourcentage de l'azote total par le facteur de conversion 6,25.

$$\text{P\%} = \text{N\%} \times 6,25$$

$$\text{P\%} = 2,96 \times 6,25 = 14,56$$

Le pourcentage de protéines totales est de **14,36 %**.

Les protéines, de rôle structural, sont sources des acides aminés notamment les acides aminés indispensables que l'organisme ne peut pas synthétiser et que l'aliment doit apporter. Elles constituent la seule principale source d'azote et généralement source d'énergie.

I.2.2 – Teneur en eau et en matière volatile

I.2.2.1 – Principe

Séchage de l'échantillon dans une étuve à 105 °C à l'abri de l'air jusqu'à l'obtention de poids constant: matière sèche. La quantité d'eau de l'échantillon correspond à la différence de poids obtenus avant et après l'étuvage.

I.2.2.2 – Résultats des expériences

On a fait deux essais et la valeur moyenne que nous avons pris comme la teneur en eau de la paille de riz. Cette teneur est exprimée en pourcentage et qui est égale à :

$T\% = \frac{m_b - m_c}{m_b - m_a} \times 100$	Avec m_a: masse du b�cher propre (g) m_b : masse du b�cher et de la paille humide (g) m_c : masse du b�cher et de la paille de riz sèche (g)
--	--

La teneur en eau et en matière volatile est $T = 5,76 \%$.

I.2.3 – Détermination des éléments chimiques

La détermination des éléments chimiques contenant dans le tourteau de palme se fait à partir de la cendre de tourteau. Cette cendre est obtenue après l'incinération de tourteau dans un four à 500 °C. La perte de poids après incinération correspond au taux de cendre de la matière sèche.

Lors de la manipulation, il faut augmenter petit à petit la température pour éviter la cassure du creuset.

En partant de 15 g incinéré, on obtient 0,343 g de cendre soit 2,29 %.

La détermination se fait par le dosage de chaque élément. La cendre obtenue doit être solutionnée en ajoutant de l'eau distillée et prendre en compte le coefficient de dilution.

Le tableau suivant montre les résultats d'analyse sur quelques éléments chimiques.

Tableau 10: Composition en éléments chimiques du tourteau de palme

Éléments chimiques	phosphore P	Fer Fe	Chrome Cr(VI)	Zinc Zn
Taux en pourcentage massique (%)	0,16	5,30	3,64	14,16

Par la spectrophotométrie, nous avons obtenu le pourcentage des éléments dans la cendre de tourteau et constaté que le pourcentage de Zinc est supérieur à celui de phosphore, de chrome et de fer.

* Remarques : On n'arrive pas à déterminer tous les éléments chimiques en l'absence des réactifs utilisés aux dosages et à la préparation des étalons.

Le tableau suivant ci-dessous résume la composition moyenne du tourteau de palmiste.

Tableau 11: Composition moyenne du tourteau de palmiste

Constituants	Valeur expérimentale	Valeur de la littérature ^(a)
Hydrate de carbone	—	48
Protéine	14,36	19
Fibre	—	13
Eau et matière volatile	5,76	11
Huile	21,17	5
cendre	2,29	4

^(a) Source Harley, 1977

I.2.4 – Utilisation des tourteaux

Le tourteau de palme peut être utilisé comme engrais biologique pour diminuer l'utilisation des engrais chimiques. L'avantage de l'utilisation de tourteau comme engrais est l'obtention d'huile biologique (une huile obtenue via la culture du palmier sans utiliser l'engrais chimique). Il est spécialement réservé pour les ruminants grâce à sa teneur en cellulose 19 à 22,69 %.

NAIBAHO P. M. a invoqué l'utilisation du tourteau palmiste comme source de sucre et d'alcool. Il a avancé que ce sous-produit contient 58,58 % d'hydrates de carbone dont l'hydrolyse produit 48,69 % de sucres et la fermentation de ces derniers donne 35,36 % d'alcool.

I.3 – CONCLUSION

L'huile de palmiste issue de l'amande est de couleur jaune claire à l'état liquide avec une saveur et une odeur de noisette assez caractéristique. D'après l'analyse, il s'agit d'une huile particulièrement riche en acides saturés (acide laurique, acide myristique). Ses caractéristiques physico-chimiques et ses propriétés en font une huile très proche de celle de coprah. L'huile de palmiste est souvent utilisée dans les crèmes pour la peau, les laits de protection solaire, les lotions pour le corps, les rouges à lèvres et d'autres produits cosmétiques. Il permet de fabriquer des substances détersives utilisées dans les produits pour la douche, les shampooings, les lessives et les produits de nettoyage. Nous trouvons aussi de l'huile de palme ou de palmiste chimiquement modifiée dans les lubrifiants, les bougies, les peintures et les vernis.

Le tourteau de palmiste est un sous-produit de l'extraction d'huile des amandes préalablement débarrassées de leur coque. Sa composition varie selon le type ou la variété de l'huile de palme et selon la méthode et l'efficacité de l'extraction de l'huile de palmiste. Les principales utilisations de tourteau sont l'alimentation animale (mélangé à la nourriture des porcs, des poules et des vaches) et la fabrication d'engrais biologiques.

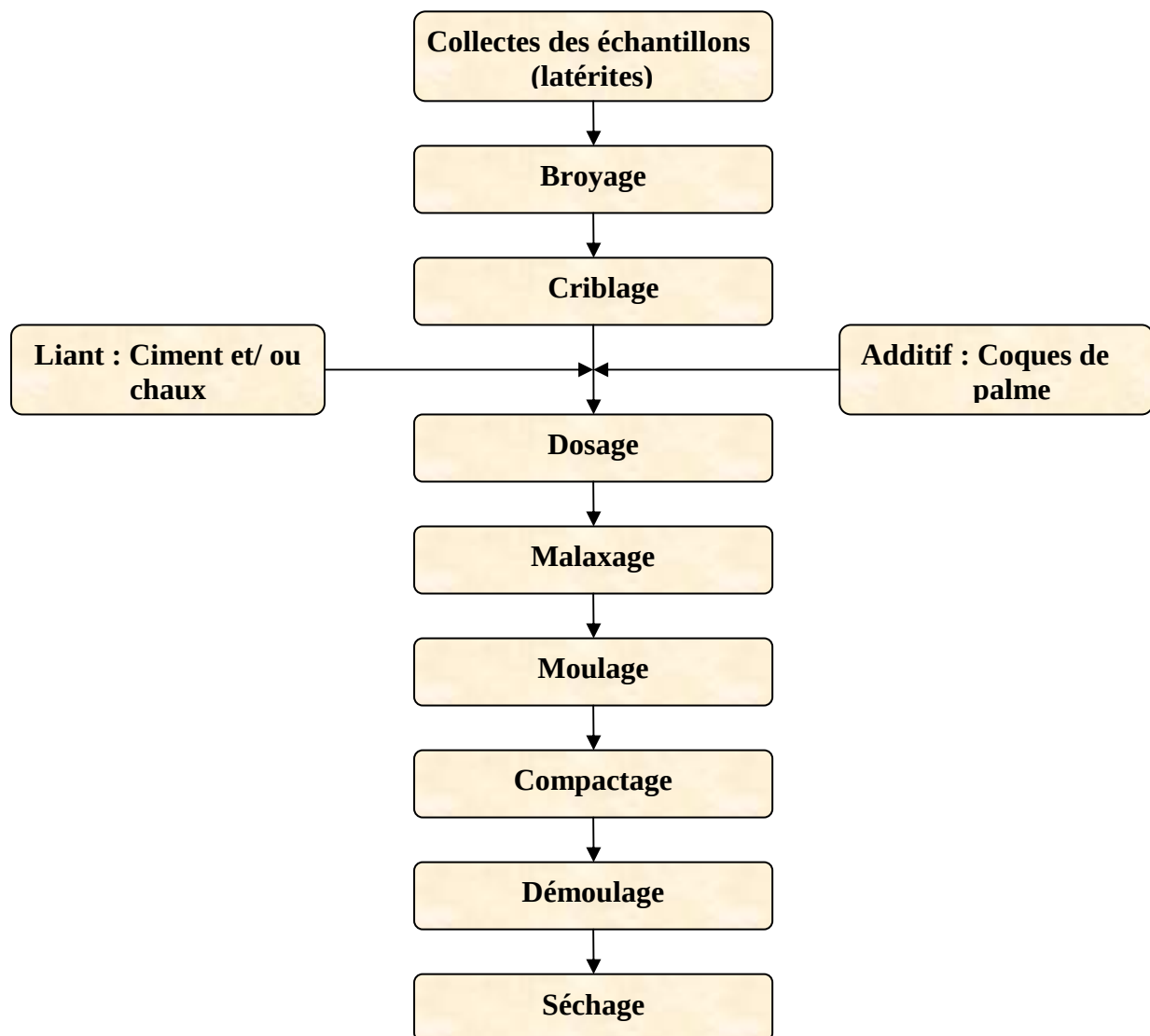
Chapitre II

VALORISATION DES COQUES DE PALME

Dans cette partie que nous utilisons les coques comme additives pour la stabilisation des latérites en utilisant des liants ciment et chaux. Des travaux faits sur la stabilisation ont donnés des résultats satisfaisants. Le but da notre travail est l’obtention des briques légères en mélangeant la latérite et les coques de palme. Dans cette expérience, nous allons mettre en exergue la confection des éprouvettes, des briques stabilisées, l’explication des différents essais et en tirer des conclusions sur les résultats.

II.1 – PREPARATION DES MATIERES PREMIERES

II.1.1 – Mise en œuvre de la fabrication des éprouvettes



Organigramme 04: Protocole d’essai de fabrication des briquettes stabilisées par les liants ciment et chaux

Les matières premières utilisées sont : la latérite, les coques de palme, le ciment, la chaux et l'eau.

Le ciment utilisé est fabriqué par la cimenterie Holcim à Ibity Antsirabe. Ce ciment est nommé CPA 45 et appartient à la classe CEM I 42.5, de prise normale. Selon la nouvelle norme européenne NF EN 197-1, les ciments sont repartis en trois classes : 32.5, 42.5 et 52.5, définis par la valeur minimale de la résistance normale du ciment à 28 jours. La résistance normale d'un ciment est la résistance mécanique à la compression mesurée à 28 jours sur mortier normal conformément à la norme NF EN 196-1 et exprimée en MPa.

La latérite et les coques de palme ne sont pas directement utilisables, elles nécessitent des traitements préliminaires comme le broyage et le criblage.

II.1.1.1 - Broyage

Il a pour but de présenter la latérite sous forme de grains relativement fins, en vue d'améliorer la surface de contact avec d'autres grains, dont ceux du ciment (augmentation de la surface spécifique de BLAINE). Il faut donc détruire et briser les mottes et les éléments grossiers.

II.1.1.2 - Criblage

La terre et/ou la coque, après être broyées, sont tamisées pour éliminer les particules supérieures à la granulométrie voulue. L'ouverture du tamis ne doit pas être supérieure à 2 mm pour assurer l'homogénéité du mélange et pour éviter l'usure prématurée de la machine due aux éléments grossiers qui sont en général des grains de silice.

Cependant, la terre doit comporter une teneur en sable optimale sinon suffisante pour optimiser la consommation de ciment.

II.1.1.3 - Dosage

C'est la proportion de concentration de la latérite avec le stabilisant, de l'eau et ou l'additif. Il y a deux façons de faire le dosage.

✦ Dosage pondéral

Cette méthode nécessite des matériels de pesage qui doivent avoir une précision de 10 à 50 g selon les quantités pesées. Plus les quantités seront faibles, plus la balance devra être précise. Il faut s'assurer de la fiabilité de l'opération (opérateur et balance) ainsi que de son efficacité, sinon le dosage par pesée n'aura pas d'intérêt.

✦ Dosage volumétrique

C'est la méthode la plus courante et la plus simple. Pour ce faire, il faut disposer de gabarits doseurs dont les volumes sont connus comme les brouettes, les seaux,..., ou dont le débit est connu ou maîtrisable comme les trémies.

II.1.1.4 - Malaxage

Après avoir fait le dosage et réalisé le mélange, il faut passer au malaxage pour permettre l'homogénéisation du mélange et aussi la répartition de l'humidité. Il y a deux étapes pour faire le malaxage.

✦ Malaxage à sec

Le malaxage à sec a pour but d'homogénéiser le mélange et ainsi que d'obtenir une bonne répartition du liant et/ ou de l'additif. Il convient d'opérer un bon malaxage à sec et de respecter le temps minimal de malaxage qui est de 3 à 4 minutes ; sinon on risque de diminuer l'efficacité de la stabilisation. La baisse des performances peut atteindre de l'ordre de 20 %.

✦ Malaxage humide

On humidifie ensuite le mélange à la teneur en eau optimale de moulage. Cette teneur en eau varie aussi avec la nature de la terre à utiliser (teneur en eau naturelle).

Une erreur de teneur en eau de 1 à 2 % peut engendrer une baisse de 2 à 10 % de la masse volumique séchée des blocs.

Il faut noter que pour la stabilisation au ciment, le temps de malaxage humide ou plutôt le temps de retenue doit être relativement court sous risque de favoriser une prise anticipée du ciment et la création de concrétisations qui seront néfastes à la résistance mécanique des produits. Un excès de 1 à 2 heures du temps de retenue peut entraîner une modification de la qualité du produits.

II.1.1.5 - Le moulage

Il s'agit de couler dans un moule la pâte ainsi composée et malaxée pour avoir la forme de brique souhaitée.

L'utilisation d'une huile de démoulage est nécessaire pour faciliter le démoulage, et pour éviter le collage à la paroi du moule. Pour cela, on peut utiliser de l'huile courante et même l'eau.

II.1.1.6 - Le compactage

Le compactage est une phase essentielle pour l'amélioration de la performance des briques ou même des sols de construction. Cela est dû au fait que l'objectif du compactage est de réorganiser les particules du sol pour qu'elles puissent bien se lier entre elles. Cela entraîne une augmentation de la densité de l'ensemble compacte et une diminution de sa perméabilité. Rappelons que la densité et la perméabilité font partie des caractéristiques très importantes dans la géotechnique.

II.1.1.7 - Le démoulage

On effectue le démoulage après le compactage de la pâte. Ceci doit être fait soigneusement et doucement.

II.1.1.8 - Le séchage

Le séchage se fait naturellement en mettant les briques à l'abri du soleil et à l'air ambiant car l'action brusque des rayons solaires entraîne leur fissuration. De plus, ces briques doivent être protégées contre la pluie et l'humidité pour favoriser leur maturation. Il suffit donc de trouver un endroit espacé et aéré pour les sécher.

La résistance d'un béton ainsi que celle de la terre, croît avec l'âge. Tous les sols n'ont pas de comportement identique ; toutefois une période de séchage d'au moins 28 jours est absolument indispensable.

II.1.2 – Présentation des matières premières

II.1.2.1 – Présentation de la latérite

A Madagascar, la latérite recouvre la partie du socle cristallin c'est à dire sur le $\frac{2}{3}$ de sa superficie vers l'Est.

Il est utile de connaître la latérite susceptible d'être employée pour la fabrication des matériaux de construction. Pour l'identifier, on peut pratiquer quelques essais rapides sur terrain. Ces essais rapides sont assez empiriques, insuffisants et ne permettent pas de déterminer les caractères physico-chimiques des latérites. Il est donc nécessaire de procéder à des essais de laboratoires (*Annexe IV*).

Dans notre travail, on a décidé d'utiliser la latérite de Vontovorona parce qu'elle appartient à la classe des latérites vraies (avec le rapport $S/R = 0.65$) d'après RAZAFIMANDIMBY A. En plus, elle a des caractères très favorables et aussi une forte teneur en fer.

Des travaux effectués sur la latérite de Vontovorona par de nombreux chercheurs ont donné des résultats satisfaisants. Les tableaux suivants rappellent quelques caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques de la latérite de Vontovorona.

Tableau 12: Caractéristiques physiques de la latérite de Vontovorona [14]

Teneur en eau W	3,41 %
Densité apparente γ_d	1,43 T/m ³
Masse volumique apparente ρ	1,34 T/m ³
Poids spécifique γ_s	2,78 T/m ³
Surface spécifique S_w	1106,00 cm ² /g
Couleur	Rouge

Les essais sur les limites d'Atterberg de la latérite de Vontovorona ont donné les valeurs suivantes. [14], [32]

Avec $W_l = 35,95$ % et $W_p = 24,35$ % on peut tirer que $I_p = 11,6$ % et $I_c = 1,83$ %

Tableau 13: Composition chimique de la latérite de Vontovorona

Eléments	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P.F
Proportion en pourcentage massique (%)	20,81	28,20	25,75	0,01	0,02	17,87

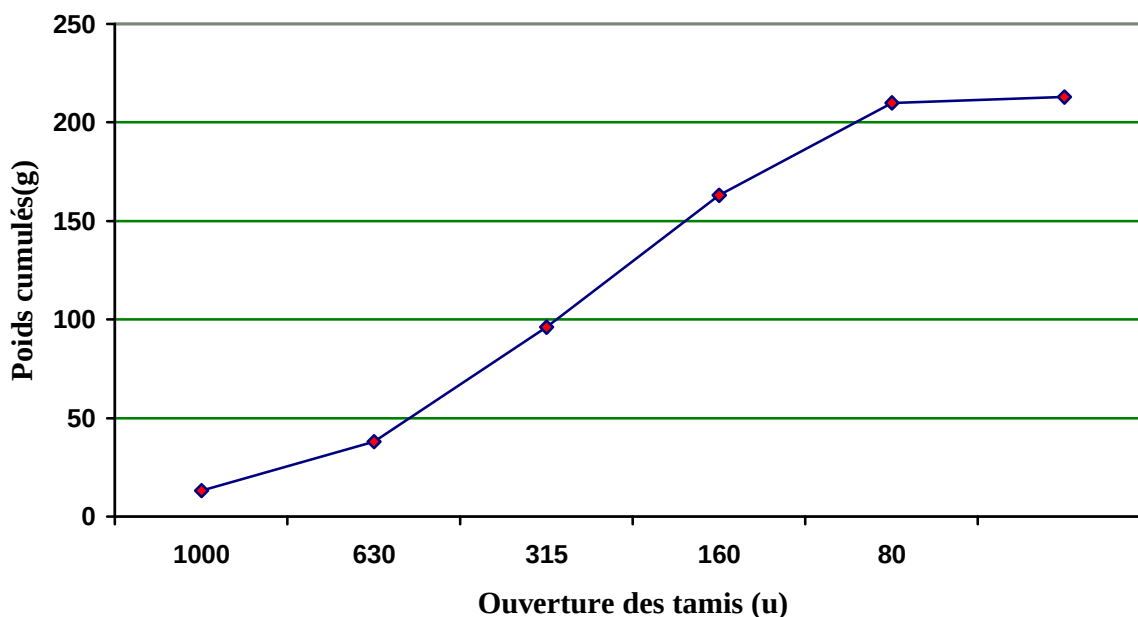
Tableau 14: Composition minéralogique de la latérite [27]

Eléments	Kaolinite	Gibbsite	Quartz	Oxyde et hydroxyde de fer	TiO ₂	Illite
Proportion en pourcentage massique (%)	35,7	22,2	2	29,17	teneur notable	trace

L'analyse granulométrique est faite après avoir effectué un séchage total des sols. Les résultats de l'analyse par tamisage de la latérite sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 15: Résultat de l'analyse granulométrique de la latérite de Vontovorona

Ouverture des tamis en μ	Refus cumulés en g	Refus cumulés en %
1000	13	5,20
630	38	15,20
315	96	38,40
160	163	65,20
80	210	84,00
	250	100



Courbe 01 : La granulométrie de la latérite de Vontovorona

La granularité du sol s'inscrit dans le fuseau des terres correctes pour la stabilisation, la courbe de granulométrie est assez bien étalée. La latérite de Vontovorona est donc une latérite à granulométrie fine et pourrait entraîner une bonne cohésion pour les briques.

II.1.2.2 - Présentation de coques de palme

Le concassage de noix palmistes et la séparation ultérieure des amandes ont pour effet de produire un certain tonnage de coque, variable suivant la nature des fruits mais généralement important. A l'heure actuelle, les coques, rafles et fibres sont brûlées, d'une façon générale, dans les chaudières des huileries de palme. Par contre, dans l'unité de production artisanale, les paysans ne s'intéressent qu'à l'huile de palme. Ils ont laissé les noix palmistes dans le lieu d'extraction.

Avant d'utiliser une matière première, il est nécessaire de connaître ses caractéristiques. La détermination des éléments chimiques de coque se fait à partir de l'obtention de cendre de coque.

*** Principe :**

L'incinération d'un échantillon séché au four réglé à 600 °C à l'abri jusqu'à l'obtention de cendre de coques suivi de la dosage des éléments contenant dans ce cendre par la méthode de spectrophotométrie.

* **Mode opératoire :**

Peser le creuset et mettre 2 g d'échantillon de matière sèche le dedans. Le mettre dans le four pendant 3 h à 600 °C. Refroidir ensuite et peser la cendre obtenue.

La perte en poids après incinération correspond au taux de cendre de la matière sèche.

La cendre obtenue est dosée selon la nature des éléments à déterminer (*Annexe V*).

* **Résultats du dosage :**

Le tableau suivant récapitule les résultats de l'analyse des différents éléments.

Tableau 16: Composition en éléments chimiques des coques de palme

Eléments Chimiques	Zinc Zn	Fer	Chrome Cr	Perte au feu PF
Taux en pourcentage massique (%)	12,58	7,40	2,62	93,93

La coque de palmes contient 12,58 % de zinc, 7,40 % de fer et de 2,62 % de chrome. On n'arrive pas à déterminer les autres éléments par la non disponibilité des réactifs.

La connaissance des éléments chimiques nous permet d'apporter des idées sur la préparation de la composition de briques.

II.2 – STABILISATION DES LATERITES PAR LES DIFFERENTS LIANTS

Pour chaque type de liant, nous avons effectué la stabilisation des latérites à des taux de 5 % et 10 % en masse. Avant tout, la détermination de la teneur eau est nécessaire pour une latérite donnée.

II.2.1 - Détermination de la teneur en eau

Comme l'eau était le principal facteur des agents susceptibles de dégrader les constructions en terre, il nous a paru nécessaire de mener également une étude sur l'influence de l'humidité sur les propriétés du matériau.

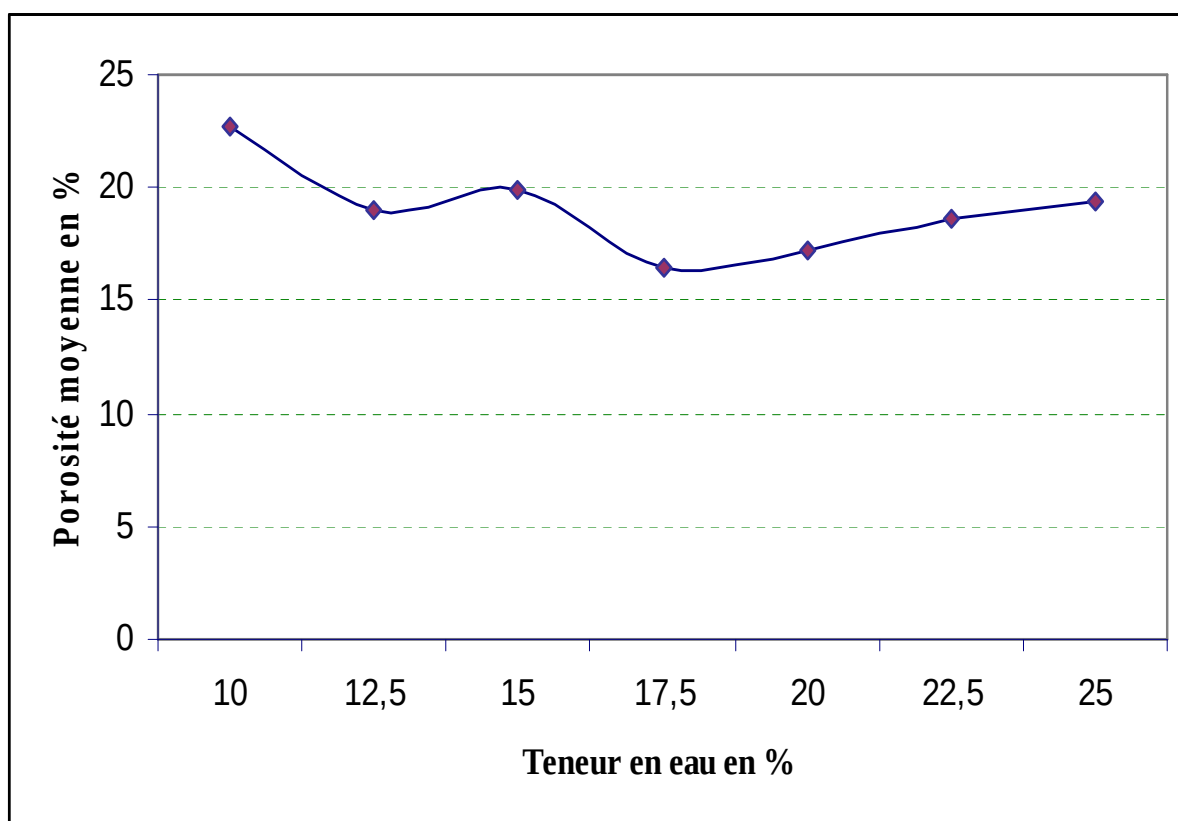
L'expérience se fait avec le ciment 10 % en masse de la latérite. La latérite, le ciment et l'eau doivent être mélangés avant d'effectuer le moulage des éprouvettes à l'aide de la machine de Testwell. La force de compactage est réglée à 6000 daN. Les caractéristiques des éprouvettes conçues sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 17: Détermination de la teneur en eau de latérite stabilisée avec ciment 10 %

Teneur en eau (%)	Hauteur (cm)	Poids sec (g)	Poids humide (g)	Porosité (%)	Porosité moyenne (%)	Masse volumique (g/cm ³)	Rc _{sec} sèche (bar)	Rc _{28j} humide (bar)	Rc _{28j} moyenne (bar)
10	3,72	125				1,71	73,89		67,52
	3,84	129				1,72	61,15		
	3,14	108	133	23,15	22,69	1,75		28,54	27,01
	3,25	112	137	22,23		1,76		25,48	
12,5	3,50	123				1,79	80,00		81,79
	3,40	120				1,80	83,57		
	3,38	116	138	18,97	19,03	1,75		30,06	30,57
	3,20	110	131	19,09		1,75		31,08	
15	3,94	143				1,85	120,76		118,98
	3,69	140				1,93	117,20		
	3,30	122	146	19,67	19,93	1,88		37,20	38,86
	3,20	114	137	20,18		1,82		40,51	
17,5	3,50	132				1,92	176,82		189,55
	3,45	130				1,92	202,29		
	3,55	131	153	16,79	16,47	1,96		53,50	62,93
	3,40	130	151	16,15		1,95		72,36	
20	3,80	142				1,90	81,02		95,54
	3,70	138				1,90	110,06		
	3,78	131	153	16,79	17,20	1,77		61,15	65,48
	3,60	125	147	17,60		1,77		69,81	
22,5	4,23	150				1,81	64,71		67,77
	4,00	142				1,80	70,83		
	3,96	137	163	18,98	18,65	1,76		35,16	46,63
	3,80	131	155	18,32		1,75		58,09	
25	3,60	117				1,67	58,60		65,48
	3,70	120				1,65	72,36		
	3,16	105	126	20	19,35	1,69		30,06	35,15
	3,20	107	127	18,70		1,70		40,25	

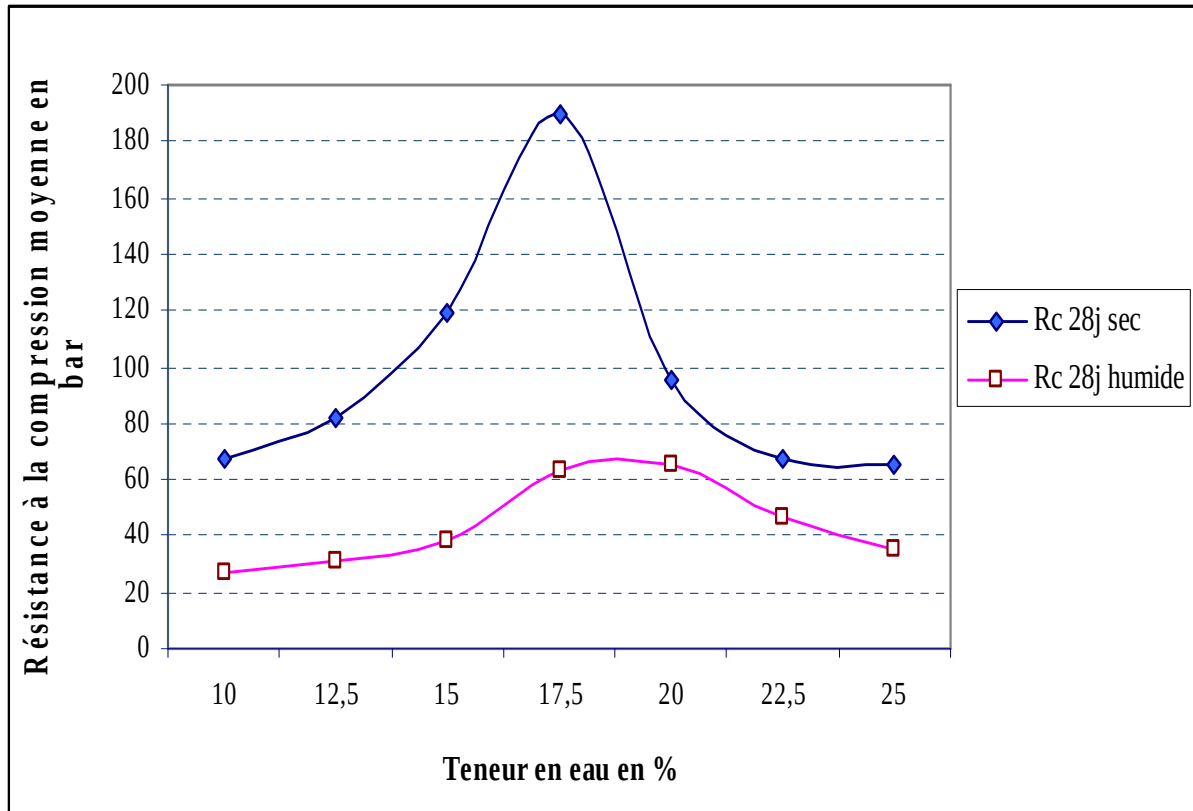
Nos mesures ont été effectuées pour des teneurs en eau choisies intermédiaires entre l'état sec et l'état de saturation. Le test se fait après 28 jours de séchage.

Sur les courbes 02 et 03, nous avons représenté l'illustration graphique des résultats de mesures de la variation de la porosité et la résistance à la compression à l'état sec et humide des échantillons.



Courbe 02: Porosité moyenne des échantillons en fonction de la teneur en eau

En faisant varier la teneur en eau de gâchage et en fixant le pourcentage de ciment (10 % en masse) et la pression de compactage, nous avons obtenu une courbe en parabole. A une teneur en eau entre 17.5 et 20 %, la valeur de la porosité est minimale : c'est la teneur optimale pour la stabilisation des latérites avec un liant en poudre (chaux ou ciment). A cette valeur, le liant et la latérite forment des bonnes liaisons. Mais cette valeur de la teneur en eau n'est pas fixe. Il peut varier en fonction de la nature de la terre utilisée. La teneur en eau ne doit pas dépasser 20 %.



Courbe 03: Résistance à la compression moyenne à l'état sec et à l'état humide en fonction de la teneur en eau

Ce diagramme montre qu'à la teneur en eau optimale utilisée, la résistance à la compression atteint la valeur maximale. Il faut donc travailler à la teneur en eau optimale pour la stabilisation de la latérite.

II.2.2 – Stabilisation avec le liant ciment

L'expérience se fait avec la latérite de Vontovorona en posant comme témoin la latérite en présence de liant et l'échantillon la latérite-coque + ciment. La pression de compactage est réglée à 9000 daN.

Tableau 18: Latérite de Vontovorona en présence de ciment et la latérite + coque en présence de ciment

	Latérite + Ciment 5 %								Latérite-coque + Ciment 5 %							
N° de l'éprouvette	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈
Hauteur (cm)	3,90	3,85	3,91	3,74	3,74	3,82	3,61	3,71	4,83	4,14	4,80	4,87	4,46	4,55	4,66	4,19
Poids sec (g)	135	134	134	135	135	132	128	127	134	119	135	135	123	129	130	121
Poids immergé (g)						156	151	151						148	150	140
Porosité (%)						18,18	17,97	18,90						16,73	15,38	15,70
Porosité moyenne (%)						18,35								15,27		
Masse volumique (g/cm ³)	1,76	1,77	1,75	1,84	1,84	1,76	1,81	1,74	1,41	1,46	1,43	1,41	1,41	1,44	1,42	1,47
Rc 14 ^e j (bar)	109,38	111,26							65,73	71,34						
Rc 14 ^e j moyenne (bar)	110,32								68,53							
Rc _{28j} sec (bar)			175,29	130,96	125,86						72,87	70,32	66,75			
Rc _{28j} sec Moyenne (bar)			144,04								69,98					
Rc _{18j} humide (bar)						44,33	37,95	40,25						42,80	43,22	41,78
Rc _{28j} humide moyenne (bar)						40,85								42,80		

Tableau 19: Latérite de Vontovorona en présence de 10 % de ciment et la latérite + coque en présence de ciment 10 %

	Latérite + Ciment 10 %						Latérite-coque + Ciment 10 %							
N° de l'éprouvette	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈
Hauteur (cm)	4,10	4,16	4,00	4,13	4,30	3,97	4,60	4,80	4,96	4,65	4,68	4,82	4,51	4,61
Poids sec (g)	145	146	144	147	148	141	131	137	141	134	130	135	128	128
Poids immergé (g)					174	165						156	146	148
Porosité (%)					17,57	17,02						15,56	14,06	15,63
Porosité moyenne (%)					17,30							15,08		
Masse volumique (g/cm ³)	1,80	1,79	1,83	1,81	1,75	1,81	1,45	1,45	1,45	1,47	1,42	1,43	1,45	1,41
Rc 14 ^e j (bar)	116,12	113,50					71,34	67,77						
Rc 14 ^e j moyenne (bar)	114,81						69,56							
Rc _{28j} sec (bar)			160	134,60					76,43	68,79	74,39			
Rc _{28j} sec Moyenne (bar)			147,26						73,20					
Rc _{18j} humide (bar)					41,78	58,60						47,90	50,45	46,88
Rc _{28j} humide moyenne (bar)					50,19							48,41		

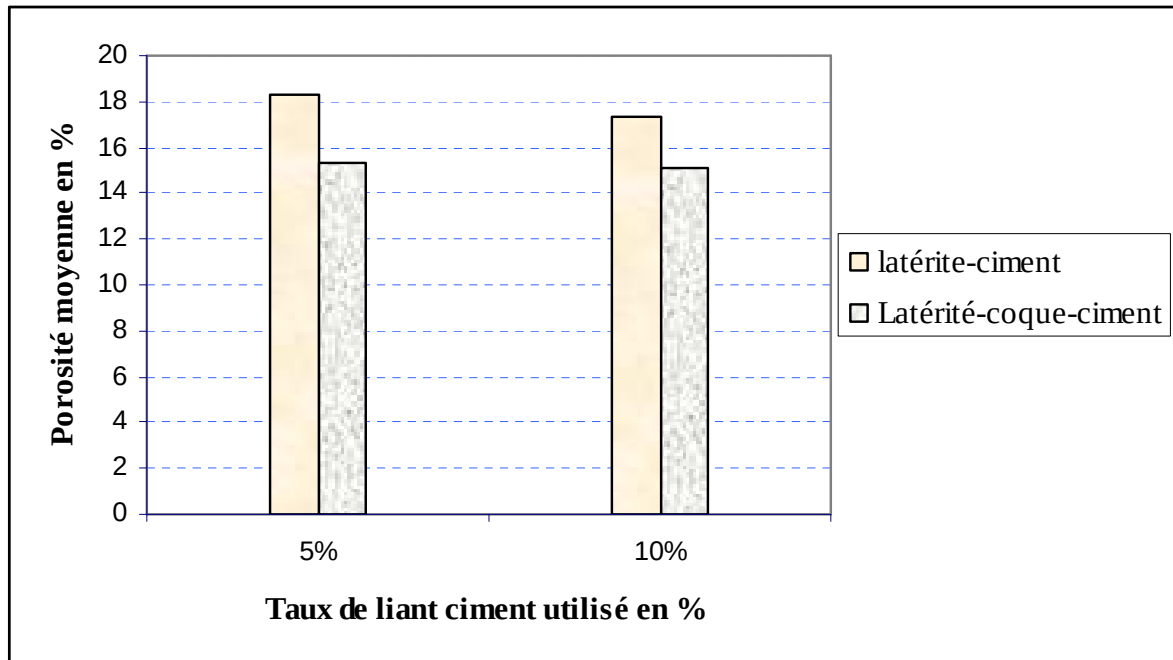


Diagramme 01: Porosité des éprouvettes stabilisées avec le liant ciment 5 et 10 %

D'après la courbe, la porosité diminue quand on augmente la teneur en ciment utilisée. Autrement dit, l'augmentation de la teneur en ciment favorise la diminution de l'entrée d'eau dans les briques stabilisées.

La porosité de la latérite additionnée de coque est inférieure à celle de la latérite sans addition de coque.

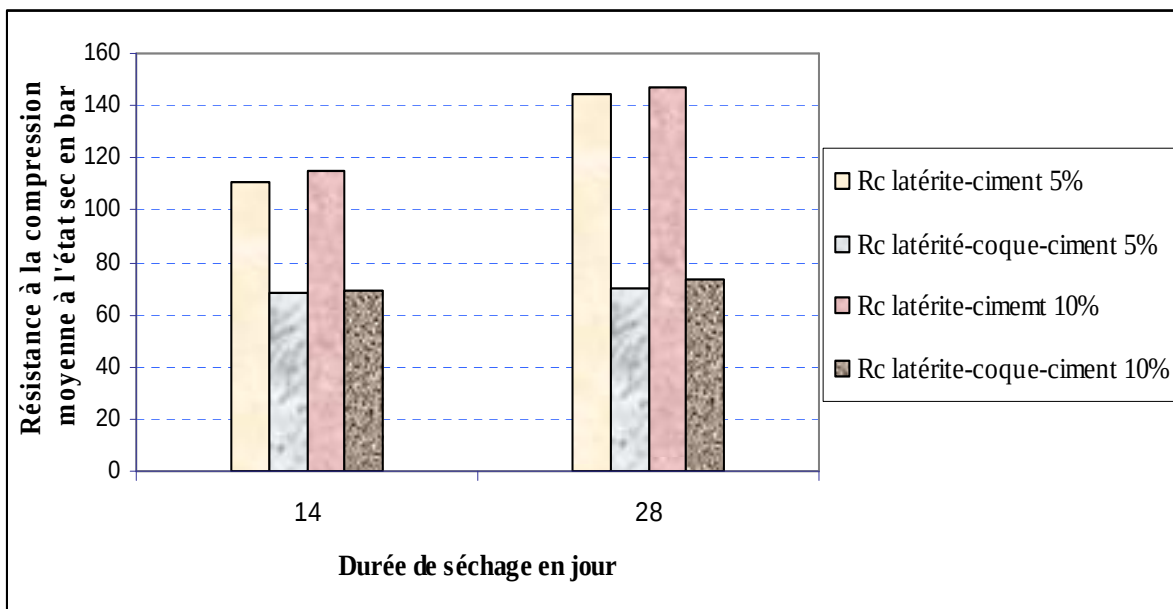


Diagramme 02 : Résistance à la compression moyenne des échantillons stabilisés par le ciment 5 et 10 %

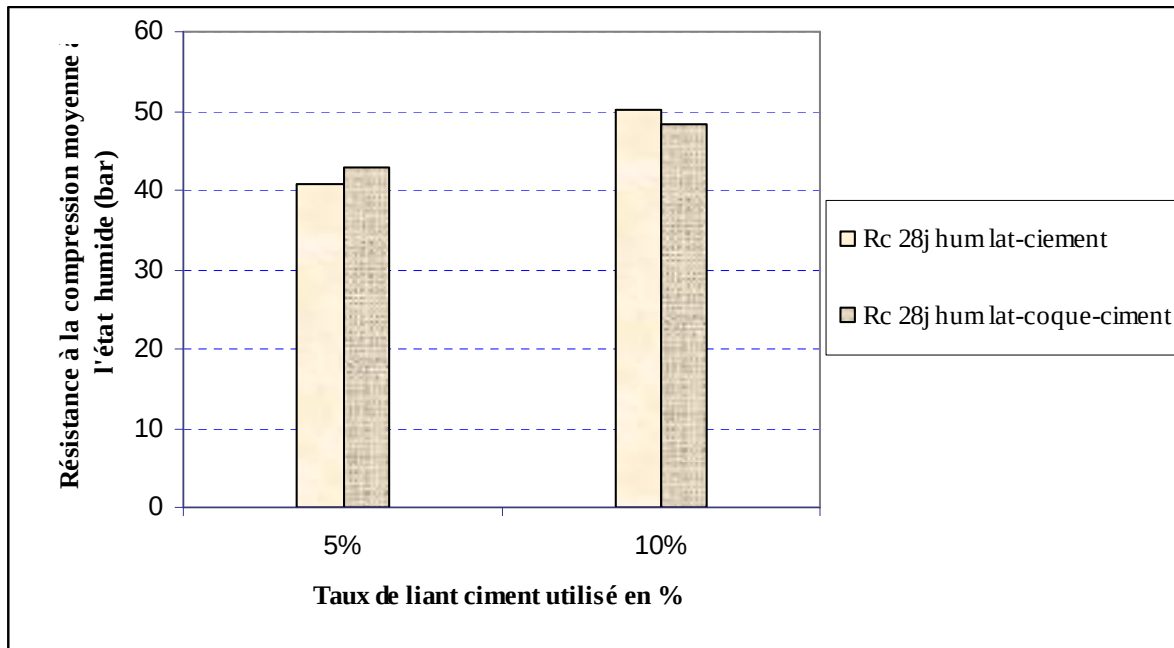


Diagramme 03 : Résistance à la compression moyenne à l'état humide des éprouvettes avec du ciment 5 et 10 %

La résistance à la compression augmente avec l'âge de l'éprouvette. A l'état sec, les valeurs de la résistance à la compression de la latérite + ciment est supérieure à celles obtenues avec la latérite additionnée de coque quelque soit le taux de ciment utilisé. Par contre, à l'état humide, les valeurs de la résistance sont presque égales. Au niveau de la résistance à l'état humide, l'utilisation de la coque comme constituant des briques représente un avantage sur la stabilisation de la latérite.

II.2.3 – Stabilisation avec le liant chaux

Les taux de liant chaux sont fixés à 5 et 10 % en masse totale et nous travaillons toujours à la pression de compactage réglée à 9000 daN.

Tableau 20: Latérite de Vontovorona en présence de 5 % de chaux et la latérite-coque en présence de chaux 5 %

	Latérite + Chaux 5 %							Latérite-coque + Chaux 5 %							
N° de l'éprouvette	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈
Hauteur (cm)	2,64	3,59	3,37	3,44	3,59	3,25	3,60	4,44	4,62	4,78	4,96	4,93	4,91	4,40	4,75
Poids sec (g)	92	124	123	120	122	115	123	124	126	135	140	140	134	120	125
Poids immergé (g)					146	134	-						155	-	144
Porosité (%)					19,67	16,52	-						15,67	-	15,20
Porosité moyenne (%)					18,10								15,44		
Masse volumique (g/cm ³)	1,78	1,80	1,86	1,78	1,73	1,80	-	1,42	1,39	1,44	1,44	1,45	1,39	-	1,34
Rc 14 ^e j (bar)	113,73	100,13						64,31	61,15						
Rc 14 ^e j moyenne (bar)	106,93							62,73							
Rc _{28j} sec (bar)			131,46	140,64						65,22	63,18	62,68			
Rc _{28j} sec Moyenne (bar)			136,05							63,69					
Rc _{18j} humide (bar)					52,99	31,08	-						43,82	-	37,71
Rc _{28j} humide moyenne (bar)					42,04								40,77		

Tableau 21: Latérite de Vontovorona en présence 10 % de chaux et la latérite + coque en présence de chaux 10 %

	Latérite + Chaux 10 %								Latérite-coque + Chaux 10 %								
N° de l'Eprouvette	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	E ₉
Hauteur (cm)	3,24	3,40	3,32	3,43	5,50	3,21	3,50	3,31	4,66	4,56	4,56	4,76	4,56	4,90	4,43	4,23	4,54
Poids sec (g)	105	115	112	115	121	107	113	106	128	125	126	131	125	135	123	116	123
Poids immergé (g)						127	135	126						145	142	136	140
Porosité (%)						18,69	19,47	18,87						14,07	15,45	17,24	13,82
Porosité moyenne (%)						19,01								15,15			
Masse volumique (g/cm ³)	1,65	1,72	1,71	1,70	1,76	1,76	1,65	1,63	1,40	1,40	1,41	1,40	1,40	1,40	1,41	1,40	1,38
Rc 14 ^e j (bar)	61,15	132,48							71,85	72,36							
Rc 14 ^e j moyenne (bar)	96,82								72,36								
Rc _{28j} sec (bar)			114,14	129,94	112,10						75,41	71,34	76,43				
Rc _{28j} sec Moyenne (bar)			118,73								74,39						
Rc _{18j} humide (bar)						60,13	49,45	58,09						60,13	59,11	58,09	68,28
Rc _{28j} humide moyenne (bar)						55,89								61,40			

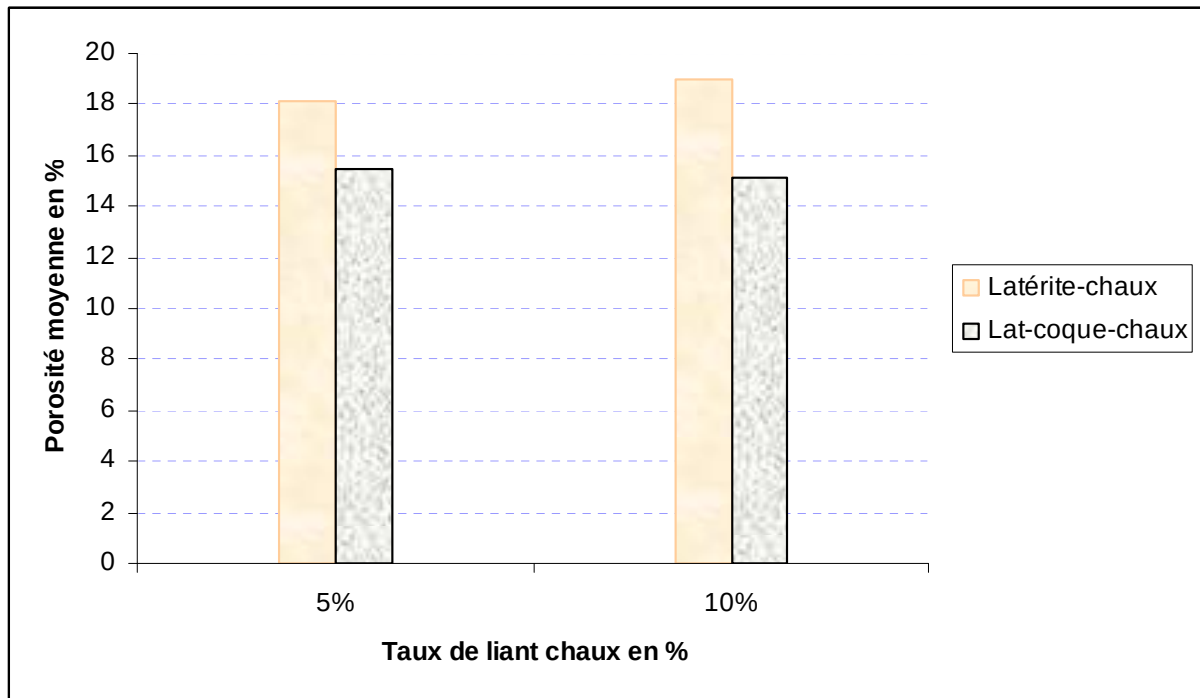


Diagramme 04 : Porosité des éprouvettes stabilisées avec liant chaux 5 et 10 %

La teneur en eau absorbée diminue, cela montre que la quantité et les dimensions des pores sont réduites. Ainsi, les liaisons entre la chaux, la coque et la latérite sont renforcées.

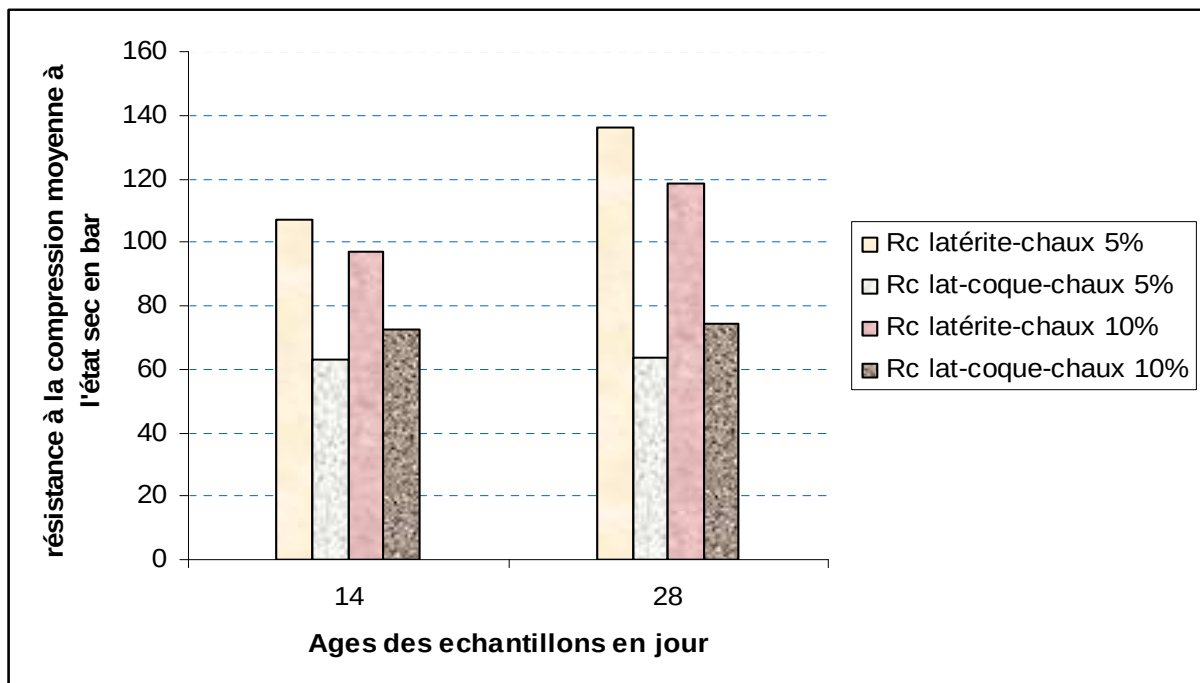


Diagramme 05 : Résistance à la compression moyenne des échantillons stabilisés par le chaux 5 et 10 %

Ce diagramme nous montre que la résistance à la compression à l'état sec de la latérite sans additif est meilleure que celle de la latérite additionnée de poudres de coque de palme.

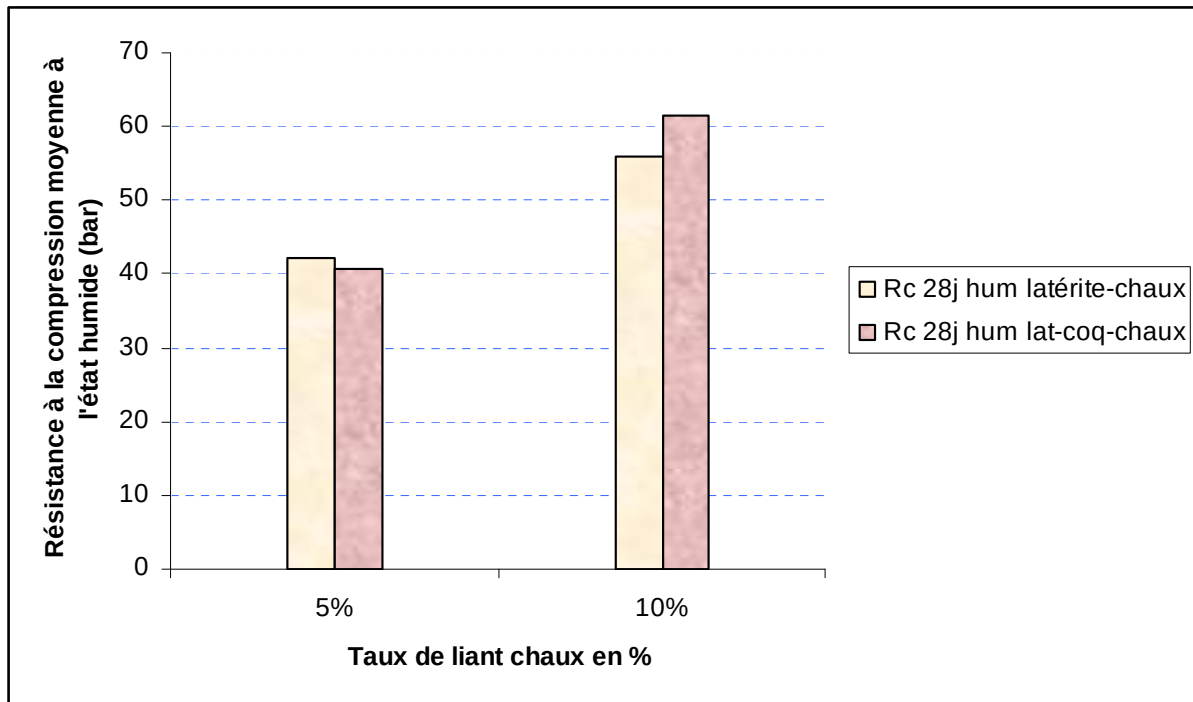


Diagramme 06 : Résistance à la compression à l'état humide avec du chaux

Pour la stabilisation à la chaux, la résistance croît avec la durée de séchage.

A l'état sec, le mélange de coque avec la latérite affaiblit la compressibilité, par contre il améliore la porosité de l'échantillon.

II.2.4 – Stabilisation avec liant ciment-chaux

La pression de compactage est réglée à 9000 daN.

Tableau 22: Latérite de Vontovorona en présence 10 % de chaux-ciment et la latérite + coque en présence de chaux-ciment 10 %

	Latérite + Ciment – chaux 10 %							Latérite - coque + Ciment – chaux 10 %							
N° de l'éprouvette	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈
Hauteur (cm)	3,55	3,47	3,80	3,70	3,84	3,61	3,70	3,53	4,07	4,80	4,54	4,86	4,76	4,89	4,94
Poids sec (g)	125	123	129	130	130	127	128	97	113	136	126	135	131	134	137
Poids immergé (g)						150	149						150	155	160
Porosité (%)						18,11	16,41						14,50	15,67	16,79
Porosité moyenne (%)						17,26							15,65		
Masse volumique (g/cm ³)	1,79	1,81	1,73	1,79	1,73	1,79	1,74	1,40	1,41	1,44	1,41	1,42	1,40	1,40	1,41
Rc 14 ^e j (bar)	126,62	137,83						65,73	73,89						
Rc 14 ^e j moyenne (bar)	132,23							69,81							
Rc _{28j} sec (bar)			130,45	125,86	175,80					67,77	77,45	72,87			
Rc _{28j} sec Moyenne (bar)			144,04							72,70					
Rc _{18j} humide (bar)						55,80	47,90						49,90	45,86	42,29
Rc _{28j} humide moyenne (bar)						51,85							46,03		

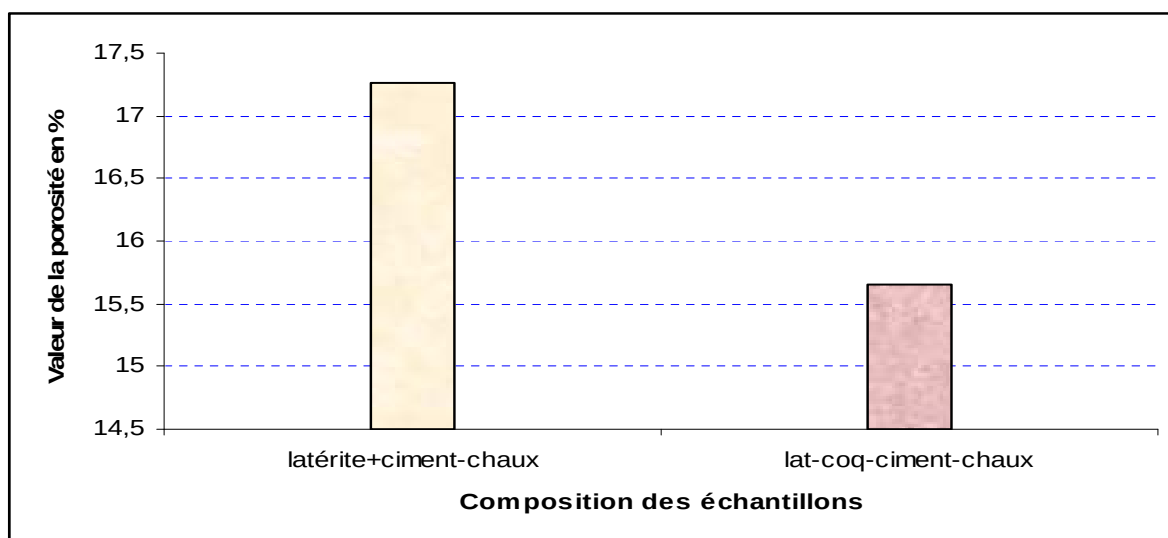


Diagramme 07 : Porosité des échantillons stabilisés avec le liant ciment-chaux 10 %

En mélangeant le ciment-chaux avec de la latérite-coque, la valeur de porosité de la latérite sans mélange de coque est très élevée par rapport à celle de la latérite en présence de coque. C'est-à-dire la porosité de la latérite-coque-liant est meilleur (15,65 % au lieu de 17,36 %).

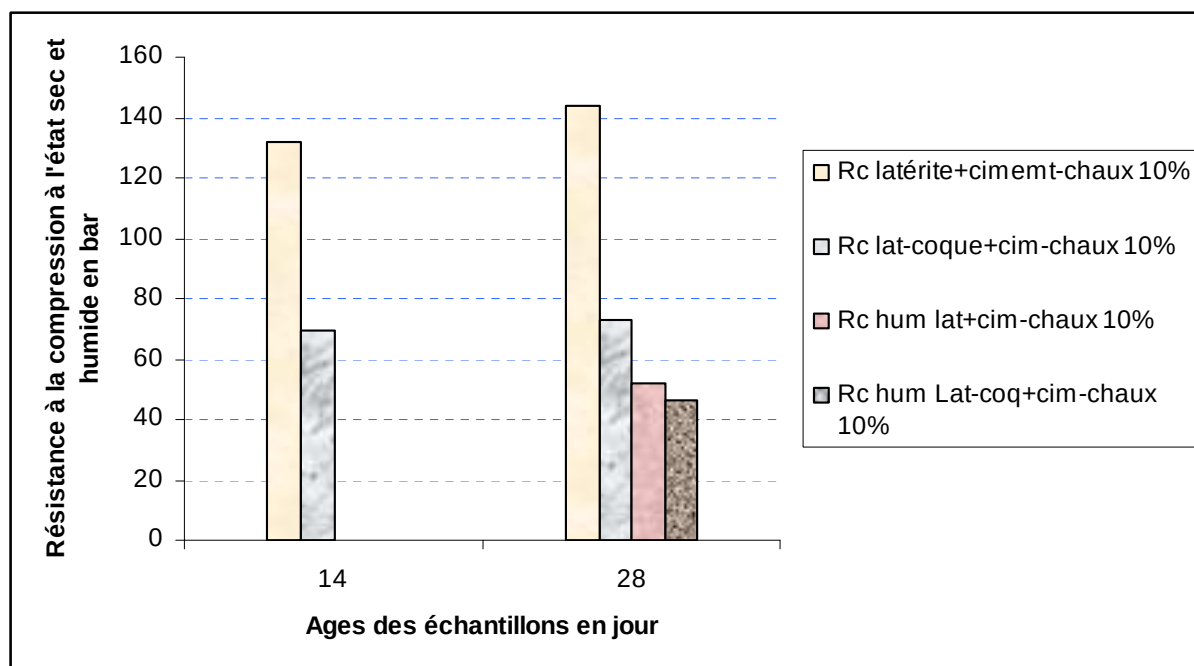


Diagramme 08 : Résistance à la compression moyenne à l'état sec et à l'état humide des échantillons stabilisés par le ciment-chaux 10 %

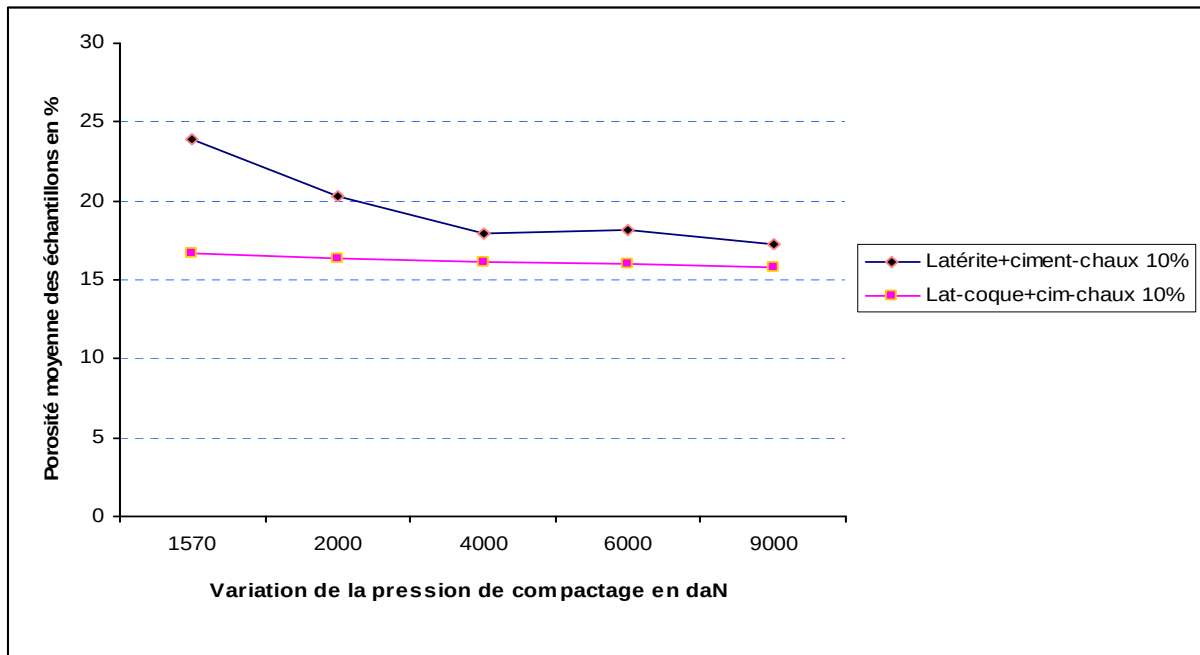
A l'état sec, la résistance à la compression de la latérite en présence de chaux-ciment est très élevée par rapport à la latérite-coque stabilisée avec chaux-ciment. La résistance augmente suivant la durée de séchage des briquettes.

II.2.5 - Essai sur la variation de la pression de compactage

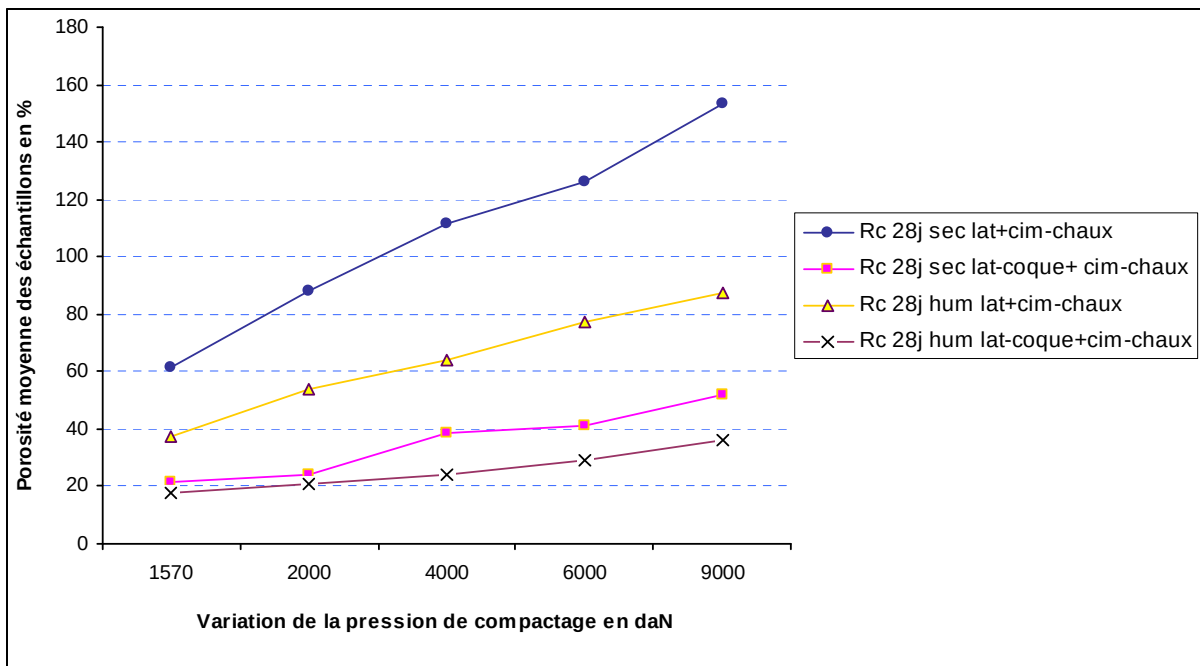
Dans cet essai, nous avons fait varier la pression de compactage de 1570 à 9000 daN tout en gardant la composition des échantillons et en utilisant le mélange ciment-chaux 10 %.

Tableau 23: Latérite de Vontovorona en présence de chaux-ciment et la latérite + coque en présence de chaux-ciment 10 %

Pression (daN)	Hauteur (cm)	Poids sec (g)	Poids (g) immergé	Porosité (%)	Porosité Moyenne (%)	Masse volumique (g/cm³)	Rc _{28j} sèche (bar)	Rc _{28j} humide (bar)	Rc _{28j} moyenne (bar)
Latérite + Ciment – Chaux 10 %									
1570	4,15 4,23	132 134				1,64 1,65	51,46 71,34		61,40
	4,40 4,43	137 139	167 175	21,90 25,90	23,90	1,59 1,60		20,38 22,42	21,40
2 000	4,39 4,10	153 140				1,78 1,74	86,62 89,17		87,90
	4,44 4,20	152 144	183 173	20,39 20,14	20,27	1,74 1,75		22,93 24,97	23,95
4 000	4,28 4,32	158 162				1,88 1,91	106,50 116,18		111,34
	4,24 4,10	154 148	181 175	17,53 18,24	17,89	1,85 1,84		38,22 38,73	38,48
6 000	4,15 4,24	157 154				1,92 1,85	124,33 127,39		125,86
	4,15 4,30	152 156	180 184	18,42 17,95	18,19	1,87 1,85		41,78 40,76	41,27
9 000	3,80 3,84	129 130				1,73 1,76	130,45 175,80		153,13
	3,61 3,70	127 128	150 149	18,11 16,41	17,26	1,79 1,76		55,54 47,90	51,72
Latérite - Coque + Ciment – Chaux 10 %									
1570	4,56 4,37	116 113				1,30 1,32	40,25 34,14		37,20
	4,94 4,90	127 125	148 146	16,54 16,80	16,67	1,31 1,30		16,31 19,36	17,84
2 000	4,46 4,23	123 118				1,41 1,42	58,09 49,45		53,77
	4,89 4,64	116 123	135 143	16,38 16,26	16,32	1,21 1,35		21,50 20,13	20,81
4 000	4,31 4,80	124 134				1,47 1,42	62,68 65,73		64,21
	4,26 4,10	121 115	141 133	16,53 15,65	16,09	1,45 1,43		22,68 24,97	23,83
6 000	4,36	125				1,46	77,45		77,45
	4,20 4,30	120 123	140 142	16,67 15,45	16,06	1,46 1,46		33,12 25,48	29,30
9 000	4,20 4,54	122 126				1,48 1,42	93,25 82,04		87,65
	3,66 4,76	104 131	121 151	16,35 15,27	15,81	1,45 1,40		20,54 41,79	35,93



Courbe 04 : Variation de la porosité des échantillons par le liant ciment-chaux en fonction de la pression de compactage 10 %



Courbe 05 : Résistance à la compression à l'état sec et à l'état humide des échantillons stabilisés par le liant ciment-chaux 10 %

La porosité diminue en augmentant la pression de compactage. Cela est expliqué par la réduction de l'espace vide contenant dans la brique. La brique devient plus compacte et les particules forment une forte liaison entre elles. La latérite additionnée de coque représente une bonne valeur de porosité.

La résistance à la compression à l'état sec et humide augmente aussi avec la pression de compactage.

II.3 – ESSAI SUR LA FAIBLE PRESSION DE COMPACTAGE

Dans cette partie, nous avons travaillé à faible pression de compactage qui est réglé et fixée à 1570 daN. Cette expérience a été pour but de vérifier s'il peut travailler avec des machines ou presses à faible pression.

II.3.1 – Stabilisation des latérites avec le liant chaux-ciment 10%

Tableau 24: Stabilisation de la latérite et de la latérite-coque avec le liant chaux-ciment 10 %

	Latérite + Chaux-ciment 10 %							Latérite-coque + Chaux-ciment 10 %							
N° de l'éprouvette	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈
Hauteur (cm)	4,35	4,35	4,10	4,23	4,40	4,10	4,43	4,22	4,40	4,37	4,56	4,50	4,90	4,66	4,94
Poids sec (g)	140	141	132	134	137	129	139	132	118	113	116	116	125	120	127
Poids immergé (g)					167	158	170						145	138	147
Porosité (%)					21,90	22,48	22,30						16	15	15,75
Porosité moyenne (%)					22,23								15,58		
Masse volumique (g/cm ³)	1,54	1,65	1,64	1,61	1,59	1,60	1,60	1,59	1,37	1,32	1,30	1,31	1,30	1,31	1,31
Rc 14 ^e j (bar)	45,09	56,05						22,17	26,24						
Rc 14 ^e j moyenne (bar)	50,57							24,21							
Rc _{28j} sec (bar)			51,46	71,34						34,14	40,25	39,24			
Rc _{28j} sec Moyenne (bar)			61,40							37,88					
Rc _{18j} humide (bar)					20,38	22,93	22,42						19,36	19,36	16,31
Rc _{28j} humide moyenne (bar)					21,91								18,34		

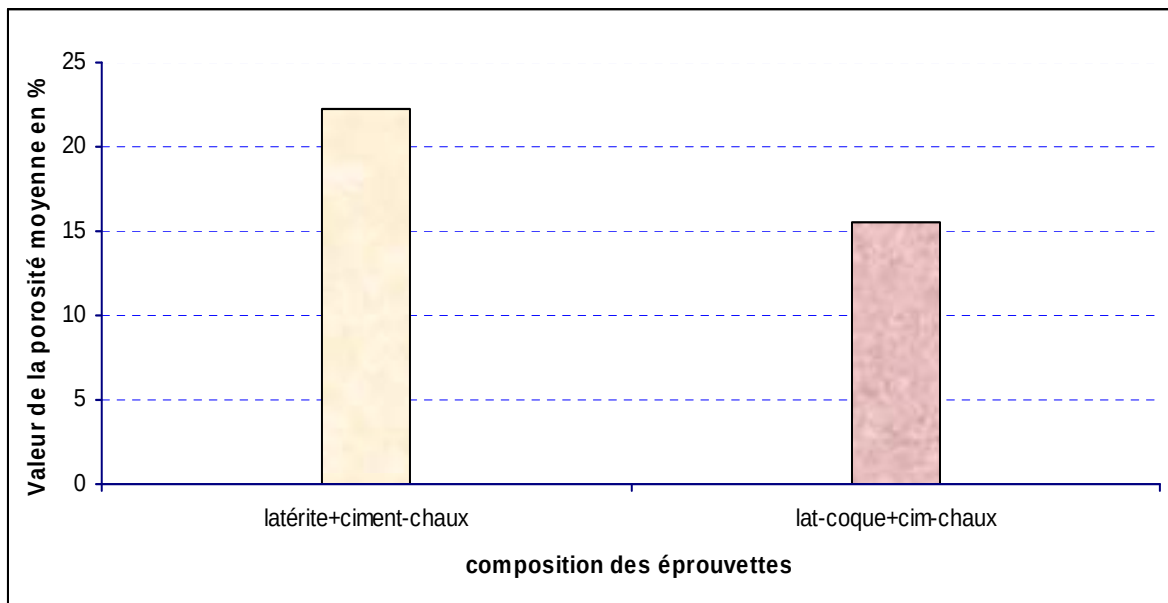


Diagramme 09: Porosité des échantillons stabilisés avec le liant ciment-chaux 10 %

La valeur de la porosité de la latérite additionnée de coque de palme est inférieure à celui de la latérite + ciment. L'addition de coque a toujours un effet sur l'absorption d'eau de la brique même si on travaille à faible pression de compactage.



Diagramme 10: Résistance à la compression moyenne à l'état sec et à l'état humide des échantillons stabilisés par le ciment-chaux 10 %

La résistance à la compression à l'état sec de la latérite avec liant sans addition de coque est strictement supérieure à celle de la latérite additionnée de coque.

II.3.2 – Stabilisation de la latérite-coque avec le liant chaux

Tableau 25: Stabilisation de la latérite - coque avec le liant chaux à 1570 daN

	Latérite-coque + Chaux 5 %								Latérite-coque + Chaux 10 %							
N° de l'éprouvette	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	E' ₁	E' ₂	E' ₃	E' ₄	E' ₅	E' ₆	E' ₇	E' ₈
Hauteur (cm)	5,13	4,90	4,70	4,90	4,72	5,00	4,90	4,92	4,22	4,40	4,37	4,56	4,50	4,90	4,66	4,94
Poids sec (g)	136	132	121	126	121	130	120	126	132	118	113	116	116	125	120	127
Poids immergé (g)						150	141	-						145	138	147
Porosité (%)						15,38	17,50	-						16,20	15,55	16,80
Porosité moyenne (%)						16,44								15,85		
Masse volumique (g/cm ³)	1,35	1,37	1,31	1,31	1,31	1,33	1,25	1,30	1,40	1,42	1,33	1,33	1,34	1,33	1,30	1,30
Rc 14 ^e j (bar)	18,34	20,89							20,38	31,08						
Rc 14 ^e j moyenne (bar)	19,62								25,73							
Rc _{28j} sec (bar)			26,49	30,06	34,65						33,12	37,20	35,67			
Rc _{28j} sec moyenne (bar)			30,40								35,05					
Rc _{18j} humide (bar)						18,34	18,85	-						19,87	17,83	21,40
Rc _{28j} humide moyenne (bar)						18,60								19,70		

II.3.3 – Stabilisation de la latérite + coque avec le liant ciment

Tableau 26: Stabilisation de la latérite-coque avec le liant ciment à 1570 daN

	Latérite-coque + Ciment 5 %								Latérite-coque + Ciment 10 %							
N° de l'éprouvette	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆	E ₇	E ₈	E' ₁	E' ₂	E' ₃	E' ₄	E' ₅	E' ₆	E' ₇	E' ₈
Hauteur (cm)	4,60	5,17	4,90	5,07	4,76	4,48	4,62	4,35	4,50	4,65	4,85	4,80	5,00	5,25	5,08	4,90
Poids sec (g)	128	142	125	132	126	115	121	119	132	118	113	116	116	125	120	127
Poids immergé (g)						134	140	138						155	152	147
Porosité (%)						16,52	15,70	15,97						15,67	15,15	14,84
Porosité moyenne (%)						16,06								15,22		
Masse volumique (g/cm ³)	1,42	1,40	1,30	1,33	1,35	1,31	1,33	1,39	1,46	1,42	1,32	1,33	1,34	1,30	1,32	1,33
Rc 14 ^e j (bar)	27,01	25,99							38,22	25,99						
Rc 14 ^e j moyenne (bar)	26,50								32,11							
Rc _{28j} sec (bar)			32,61	31,08	37,20						37,71	40,76	38,22			
Rc _{28j} sec moyenne (bar)			33,63								38,90					
Rc _{18j} humide (bar)						20,13	22,42	19,87						21,40	22,42	22,93
Rc _{28j} humide moyenne (bar)						20,81								22,25		

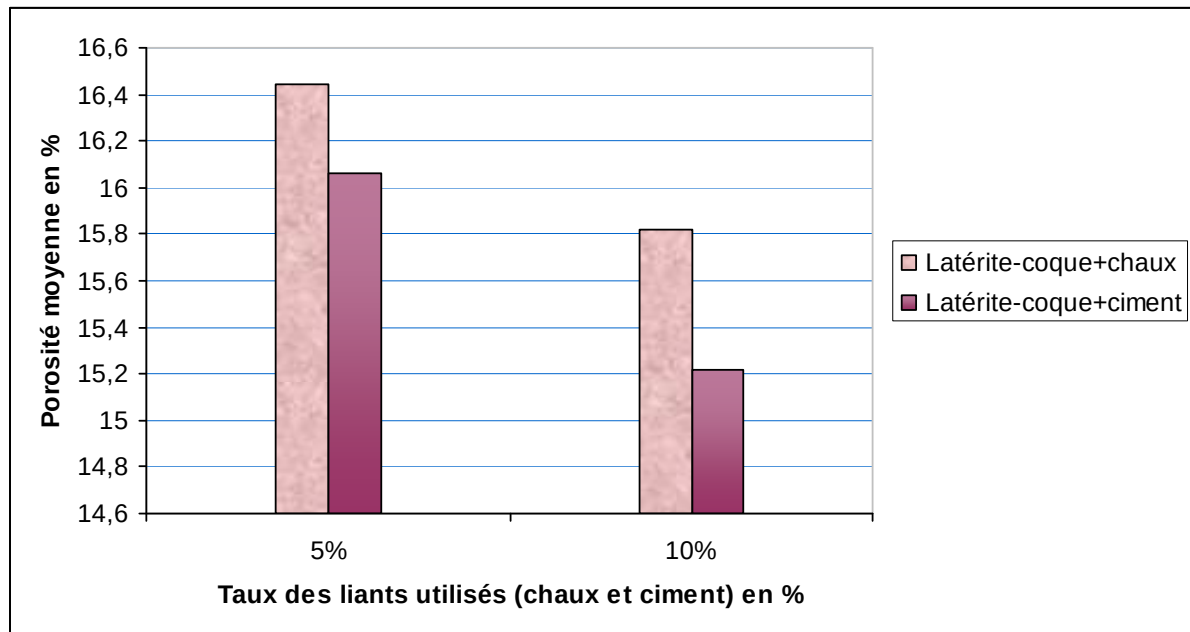


Diagramme 11: Porosité des échantillons stabilisés par le liant chaux et le liant ciment

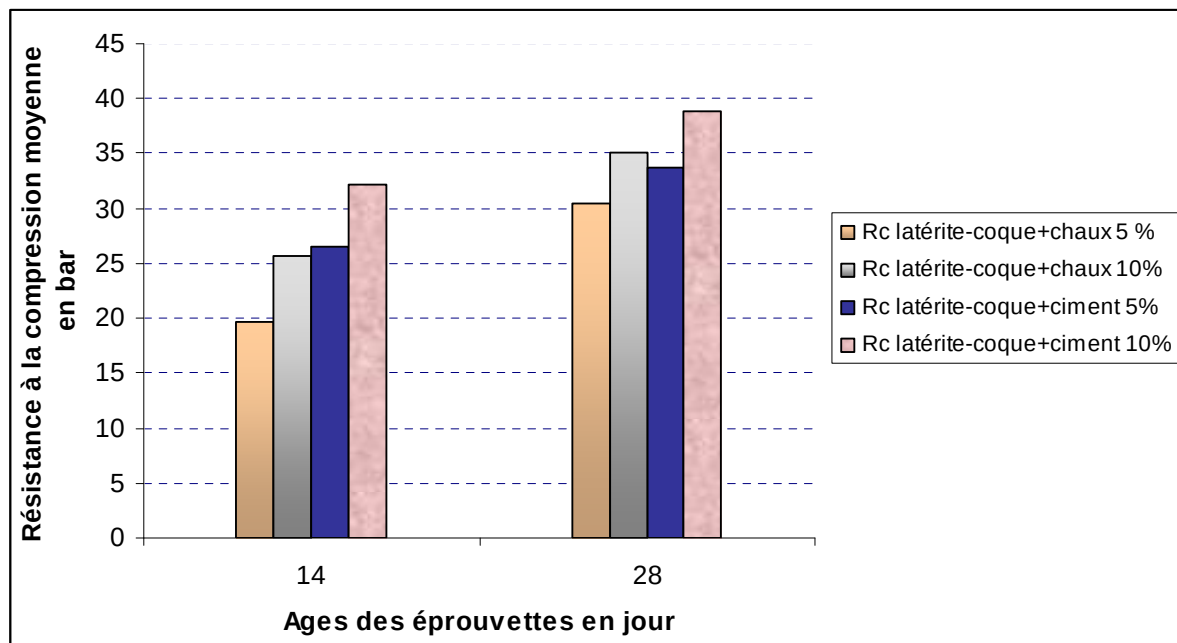


Diagramme 12: Résistance à la compression moyenne des échantillons stabilisés par le liant chaux et le liant ciment

D'après ces courbes, la résistance à la compression croît avec l'âge des échantillons et le pourcentage des liant utilisés. La stabilisation avec le ciment donne des résultats intéressants par rapport à la stabilisation à la chaux.

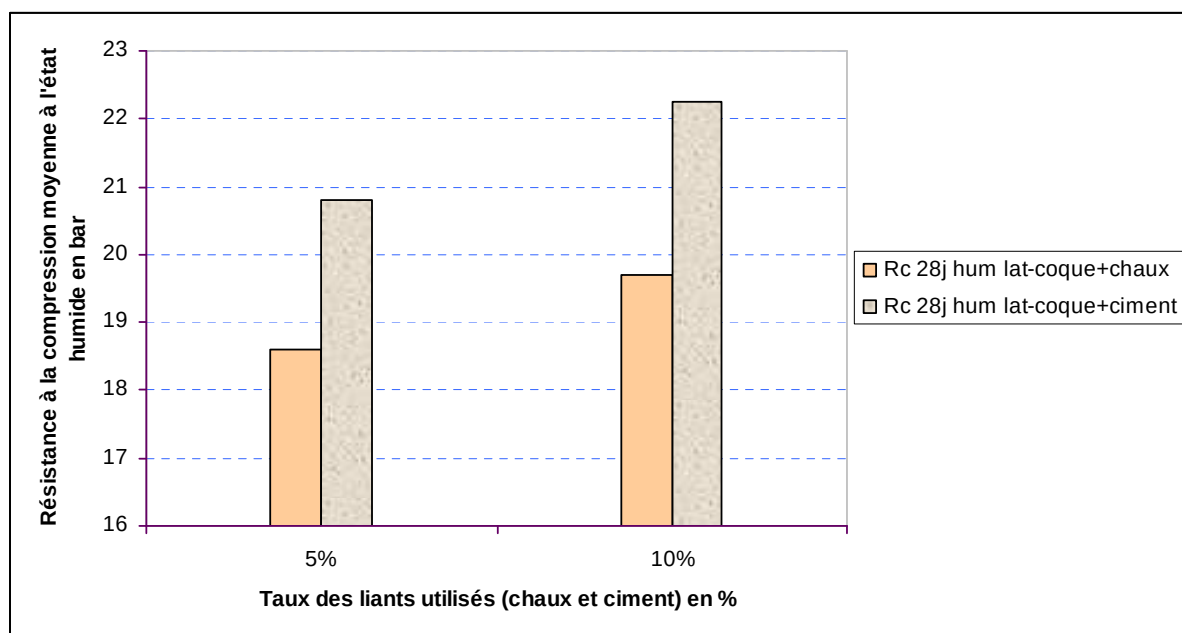


Diagramme 13: Résistance à la compression moyenne à l'état humide des échantillons stabilisés par le liant chaux et le liant ciment

La résistance à la compression varie suivant la pression de compactage, la teneur en eau utilisée et de même pour la masse volumique.

Les résultats des essais nous permettent de dire que même avec des pressions faibles, nous pouvons stabiliser la terre en utilisant des liants. Mais, les valeurs sont meilleures en utilisant des presses à forte pression de compactage.

II.4 – CONFECTION DES BRIQUES STABILISEES ET DE BETONS LEGERS

II.4.1– Briques de terre stabilisée

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées "adobes". Ce sont des briques de terre crue stabilisées ou pas, moulées manuellement à l'état plastique et séchées à l'air libre. Les adobes possèdent une structure interne solide.

Depuis toujours, l'homme fait confiance à la terre crue comme matériau de construction. La raison en est simple : la terre est une matière première naturelle et sa transformation en matériau de construction de qualité s'obtient sans grande dépense énergétique et sans aucun processus chimique. Les briques de terre comprimées "BTC", également porteuses, généralement stabilisées au ciment ou à la chaux sont utilisables sans enduit, en mur extérieur.

Pour fabriquer les briques, nous prenons une masse de latérite nécessaire en fonction des différents pourcentages voulus de liant ciment et/ou chaux. Le pressage du mélange se

fait sur presse hydraulique à une pression de 60 tonnes. Le moule est en acier, de forme parallélépipédique. Les dimensions des briques échantillons sont parallélépipédiques (20 x 23 x 11) cm³.

Pendant l'expérience, nous avons confectionné des briques stabilisées au ciment 5 % et 10 % (BSC5, BSC10) et des briques stabilisées au liant ciment additionnées des poudres de coques de palmes (BSL). Ces briques confectionnées sont comparées avec deux briques cuites (DBG) dites « gasy » équivalent d'une brique et avec des briques stabilisées à la chaux inconnues (BSCi) qui existent déjà sur le marché. Le tableau 27 illustre les résultats de tests effectués sur des différents types de brique conçue.

Tableau 27 : Résultat des tests sur les différentes briques stabilisées

Echantillons	BSCi		DBG		BSC10		BSC5		BSL	
Pression de compactage (T)	Inconnu		Faible, cuite		24	11	18	21	20	22
Hauteur (cm)	9,80	10,34	8,36	8,20	11	11	11	11	11	11
Poids sec (g)	6000	7400	4045	4200	9500	8000	8000	9400	7200	7300
Poids immergé (g)		8300		5405		8500		9800		7600
Porosité (%)		12,16		28,69		6,25		4,26		4,10
Masse volumique (g/cm³)	1,40	1,64	1,27	1,35	1,88	1,58	1,58	1,86	1,42	1,44
Rc à l'état sec (bar)	22,94		65,79		110,87		86,96		59,42	
Rc humide (bar)		4,59		23,68		47,83		34,78		30,65

Ce tableau nous montre que les briques de terre confectionnées sont les plus performantes que les « briques gasy » et les briques stabilisées déjà vendu sur le marché. Les briques que nous avons confectionnées sont deux fois moins poreuses que les autres briques.

Au niveau de la résistance à la compression, avec la brique stabilisée au liant ciment 10 % qu'on obtient la meilleure valeur. Le diagramme ci-dessous représente la résistance à la compression à l'état sec et humide des échantillons de brique comprimée.

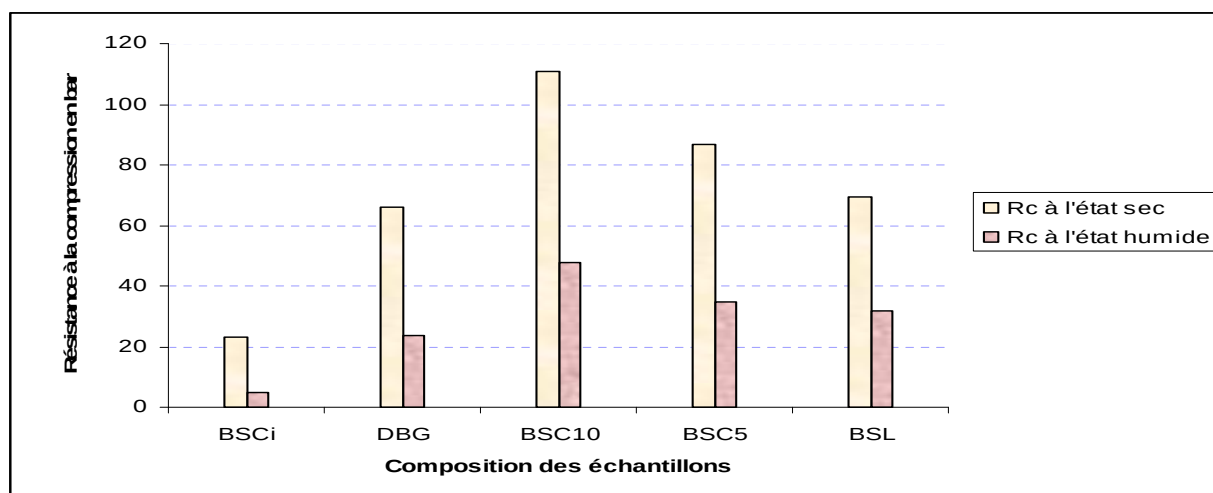


Diagramme 14 : Résistance à la compression à l'état sec et l'état humide des différentes briques stabilisées

Nous pouvons diminuer la masse volumique des briques de terre comprimées en utilisant des poudres de coques de palme comme additif pour obtenir des matériaux légers.

II.4.2– Avantages et utilisation des blocs de terre stabilisée

Les éléments de construction en terre crue ou cuite sont solides, fiables, faciles à entretenir et à réparer. En tant que produit naturel, ils ne provoquent pas d'allergies et non toxique pour la santé. Le coût énergétique à la production est faible (peu d'énergie grise). Les domaines d'utilisation sont très variés. Cela va de la maison individuelle au bâtiment tertiaire en passant par les logements collectifs. A prix égal d'entreprise, on obtient une qualité de construction bien supérieure. Dans le cas d'auto-construction, la simplicité de la technologie des blocs comprimés permet de faire des économies importantes. Le matériau étant prélevé sur place, on minimise les coûts de transport.

Réutiliser sur place les terres extraites lors des terrassements (fondations, déblais pour plate forme de la construction), réduit les atteintes portées aux paysages naturels.

II.4.3– Essai sur le béton léger

Le béton est un des matériaux les plus importants dans tous les domaines de la construction, ceci s'explique par la possibilité de varier les propriétés du béton dans de larges limites en utilisant des composants aux qualités correspondantes et en appliquant des méthodes spéciales de traitement mécanique et physico-chimique. Le béton léger est formé du ciment avec des agrégats poreux ou légers, naturels ou artificiel.

La coque de noix de palme est une matière première idéale pour remplacer les agrégats minéraux dans de très nombreux domaines d'application des matériaux de construction.

Le tableau ci-dessous illustre le résultat des essais de fabrication de béton léger en variant le taux de coque de palme incorporé dans l'échantillon.

Tableau 28 : Résultat des essais de fabrication de béton léger

Taux de coque (%)	10		15		20		30		35		40	
Hauteur (cm)	4,81	4,76	4,80	4,75	4,71	4,70	4,80	4,75	4,72	4,69	4,70	4,90
Poids sec (g)	182	180	179	176	170	169	158	157	150	148	137	142
Poids humide (g)	187		184		172		160		155		138	
Masse volumique (g/cm ³)	1,92	1,93	1,90	1,89	1,84	1,83	1,68	1,68	1,62	1,61	1,48	1,48
Rc en bar	132,48	120,25	124,33	117,64	119,24	107,01	93,75	69,30	62,17	36,68	27,52	19,36

Selon les documents consultés et quelques essais élaborés au laboratoire, la coque de palme possède des caractéristiques très intéressantes et un atout favorable, la légèreté, pour remplacer les agrégats dans la formulation d'un béton de types légers. L'avantage de ces nouveaux matériaux repose sur le fait que leur procédé de fabrication s'avère assez simple. Nous pouvons aussi constater que le matériau de construction fait à base du liant hydraulique et de coque de palme peut faire partie des matériaux de construction classiques et que son utilisation pour une application quelconque est bien fiable.

Pour conclure, il est nécessaire de faire des études plus profondes sur l'optimisation de tous les paramètres pour avoir de matériau de construction qui peuvent concurrencer les produits de même destination sur le marché.

II.5 – CONCLUSION

D'après les résultats de l'expérience, nous pouvons tirer certaines conclusions suivantes. La terre crue non stabilisée retient facilement l'eau qui provoque la désagrégation et même l'effritement de l'échantillon. Le matériau stabilisé au ciment et/ou chaux est donc plus résistant aux effets de l'humidité.

Pour stabiliser la terre avec des liants chaux et/ou ciment, il est nécessaire de travailler à la teneur en eau de gâchage optimale.

La pression de compactage influe beaucoup sur la performance des briques produites. Cette performance augmente avec la pression de compactage élevée. L'utilisation des poudres de coque comme additifs améliore la porosité des briques stabilisées et permet l'obtention des blocs de terre comprimée plus légères. Par contre, elle diminue la résistance à la compression de l'échantillon.

CONCLUSION GENERALE

L'huile obtenue du noyau de palme après raffinage connaît son principal débouché dans l'industrie agro-alimentaire : fabrication de margarines, de graisses végétales et de graisses à incorporer au chocolat. L'huile extraite à froid du noyau, à part son usage alimentaire après raffinage, est utilisée comme source de corps gras pour la fabrication des produits cosmétiques et en savonnerie en raison de sa teneur en acides laurique et myristique pour l'obtention de produits doués de bonnes propriétés moussantes.

Le tourteau sert de nourriture des ruminants et peu être utilisé comme engrais biologique.

La latérite est une matière première locale qu'on peut trouver partout à Madagascar. Son utilisation comme matériau de construction permettrait de réduire l'utilisation des bois pour la construction des maisons.

Le regain d'intérêt que connaît actuellement le matériau terre est largement justifié, c'est un matériau local par excellence.

A l'issue des résultats expérimentaux obtenus, nous pouvons dégager :

Les teneurs en eau absorbée pour la terre stabilisée par les liants (chaux et ciment) additionnés de coque restent faibles par rapport à celles utilisées pour les matériaux dosés par ses liants. Ceci est dû au fait que le matériau stabilisé additionné de coque est plus résistant aux effets de l'humidité. Ainsi, l'addition de coque dans la latérite stabilisée par des liants ciment ou chaux améliore la porosité des briques.

A l'état sec, la résistance à la compression pour la terre stabilisée par les deux types de liant utilisé sans addition de coque est supérieure à celle de la latérite stabilisée additionnée de coque. Par contre, la résistance à la compression à l'état humide de la latérite-coque stabilisée est voisine de celle la terre-liant.

Pour ces deux types de liant utilisé, le ciment donnent des bonnes résultats quel que soit le pourcentage utilisé. Le meilleur résultat est obtenu par le ciment 10 %.

La résistance à la compression des terres comprimées à l'état sec et humide augmente avec la variation de la pression de compactage. Pourtant, on peut stabiliser la terre même avec de pression faible.

En travaillant avec la latérite séchée, la teneur en eau de gâchage comprise entre 17,5 et 20 % en masse donne les meilleurs résultats (189,55 bars à l'état sec et 65,48 bars à l'état humide) pour la stabilisation aux liants ciment et/ou chaux (résultat au laboratoire). Mais cette valeur n'est pas fixe. Elle peut diminuer, au moment de la production des briques en travaillant sur des latérites humides pendant la saison de pluie.

La valorisation des résidus et sous produits de l'extraction artisanale de l'huile de palme permet d'améliorer les aspects environnementaux non seulement par la réduction des

déchets ou ordures en tas dans notre pays mais aussi en les transformant en des produits utiles pour l'amélioration de la vie.

Les coques de palme sont considérées comme déchet à Madagascar, et les latérites sont aussi en abondance; la valorisation de ce déchet se joue sur le seul prix du liant minéraux utilisé (ciment, chaux). De plus, la méthode opératoire est relativement facile et n'entraîne aucun impact négatif sur l'environnement.

Cette méthode de stabilisation peut être appliquée dans toutes les régions de Madagascar.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

-
- [1] ABD-EL Malik. Contribution à l'étude de stabilisation de latérite par la paille de riz : approche biochimique. Mémoire de DEA, département Sciences des Matériaux et Métallurgies. ESPA, 2006.
- [2] ABE T. The palm oil mill intelligent control system. Oléagineux, vol 45, n° 4 – Avril 1990.
- [3] Agridoc. Utilisation des sous-produits agricoles tropicaux dans l'artisanat et comme source d'énergie. Dossier documentaire ; CDDR-SAILD, Mai 2004.
- [4] ANDREAS Claude. L'elaeiculture (vivrière) dans la région de Manakara. Mémoire de fin d'études. ESSA, 1970.
- [5] ASIEDU J. J. La transformation des produits agricoles en zone tropicale. Approche technologique. Paris : KARTHALA et CIA, 1991 ; 335p.
- [6] DRANSFIELD, BEENTJE Henk. The palm oil of Madagascar. Royal Botanic Garden; Kew and International palm Society. 1995.
- [7] DUFFAUD Pierre, RSANDRAZANANY Robson. Conseil aux planteurs de palmier à huile: Torohevitra ho an'ny mpamboly palmier à huile. Tananarive: Imprimerie Nationale, 1967; 39 p.
- [8] Ministère de l'agriculture et de l'élevage et de la pêche. Annuaire Statistiques Agricoles. Service des statistiques agricoles. 2003 ; 104p.
- [9] EZBAKHE H., BOUSSAID S., El BAKKOURI A., El BOUARDI A., AJZOUL T. 'Etude Thermophysique du Matériau Terre Utilisé dans la Construction dans le Nord du Maroc'. 9ièmes JITH, pp. 91-98, Liège, Belgique, 15-18 septembre 1999.
- [10] Ministère de l'agriculture- Secrétariat Général. Fiche Technique : Le palmier à huile. Direction générale des activités techniques. Décembre 1999 ; 10p.
- [11] HARY Jean. Contribution à l'étude de la production des briques crues et cuites en latérite. Mémoire de fin d'étude de DEA, département Sciences des Matériaux et Métallurgie. ESPA, 2002.
- [12] HUBERT Paul. Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale. A l'usage des Lycées agricoles. Tananarive : Ministère de l'agriculture, 1968.
- [13] JACQUEMARD Jean-Charles. Le palmier à huile. Le Technicien d'Agriculture Tropicale. Paris : Maisonneuve et Larose, 1995 ; 207p.
- [14] LINA Zizy Aimé. Etude comparative des différentes méthodes de stabilisation de latérite. Mémoire de fin d'étude, Génie Chimique. ESPA, 2007.
- [15] Projet palmier à huile d'ANTALAHA. Rapport définitif au titre du marché : n°86/MPARA/Palm. Tom II. Octobre 1986.
- [16] RABEARISOA Tokiniaina. Contribution à l'étude de valorisation énergétique des sous-produits de l'exploitation du palmier à huile à Melville Tamatave -Conception d'un

- réacteur de biodigestion et d'un désulfureur du biogaz obtenu. Mémoire de fin d'étude, Génie Chimique. E S PA, 2005.
- [17] RABEARISON Avozara Raumuald. Essai d'extraction d'huile de son de riz de Madagascar par expression. Mémoire de fin d'étude, Département Génie Chimique. ESPA, 2006.
- [18] RABOTOVAO Oswald Marie Antonio. Etude comparative de la stabilisation des latérites avec des liants : ciment et de liant silice active additionnée de l'urée. Mémoire de fin d'études, Génie chimique. ESPA, 2006.
- [19] RAHERINJATOVO Simon, RAJERISON Tiana N. T. Valorisation de la latérite. Mémoire de fin d'études, Département Génie Chimique. ESPA, 1987.
- [20] RAKOTOMALALA Herilalaina. Contribution aux études sur l'utilisation optimale et rationnelle du ciment. Mémoire de fin d'étude, Génie Chimique. ESPA, 2006.
- [21] RAKOTONDRAVALY Désiré Alphonse. Essai de fabrication de briques en terre stabilisée, à la base de stabilisants routiers, cas de la latérite de Vontovorona. DEA Sciences des matériaux, 2003.
- [22] RAKOTONIRINA Zo Ny Aina, RATOVONDRAHONA Joahary Hasina. Etude de fabrication de matériaux de construction en terre stabilisée par extrusion. Mémoire de fin d'étude, Département Génie Chimique. ESPA, 1999.
- [23] RAKOTOTSIMBA Sandra, RAKOTONDRABE Joséllys. Contribution à la valorisation du "matériau terre" caractéristique et utilisation des latérites des environs d'Antananarivo. Mémoire de fin d'étude, Génie Chimique. ESPA, 2000.
- [24] RANDRIAMIHARISOA Fanjaniaina Veromanitra. Contribution à l'étude des matériaux composites ciment-polystyrènes : bétons légers. Mémoire de fin d'étude de DEA, Génie Chimique. ESPA, 2006.
- [25] RANDRIANA Nambinina Richard Fortuné. Etude techno-économique pour la production de briques stabilisées dans la réserve de la biosphère de Mananara Nord. DEA, Génie Chimique. ESPA, 1994.
- [26] RANDRIANA Nambinina Richard Fortuné. Contribution à la valorisation des latérites par élaboration d'un liant oxyde de fer et de silice activé. Thèse de doctorat de III^e cycle, Génie Chimique. ESPA, 2004.
- [27] RANAIVONIARIVO Velomanantsoa Gabriely. Contribution à l'étude des liants pouzzolaniques de synthèse à base de matériaux thermiquement actives à moyennes température, principalement les latérites calcinées. Thèse de Docteur-Ingénieur, ESPA/INSA Lyon, 1992.
- [28] RANOARISON Willy Andriamaherinaina. Contribution à l'étude d'une mise en place de la compatibilité analytique d'exploitation dans un complexe agro-industriel : cas de SOMAPALM. Mémoire de fin d'études. Département des Sciences Agro-Economico-Sociales. ESSA, 1981.

- [29] RASOARAHONA Jean R. E. lipides de poissons d'eau douce de Madagascar : Identification des acides gras particuliers et évolution du profil de leur composition chez *Cyprinus carpio*, *Carassius auratus*, *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis macrohir*, *Tilapia rendalli*, *Tilapia zillii* et *Arius madagascariensis*. Application à la différenciation de ces espèces en fonction de la saison et/ou de l'origine. Thèse de Doctorat d'Etat en Science Physique. ESPA, 2004.
- [30] RATEFIARISOA Claude. L'amandes palmistes à Madagascar : Amélioration de son traitement industriel de récupération, caractéristiques et utilisations de l'huile obtenue. Mémoire de fin d'étude, Département Industries Agricoles et Alimentaires. ESSA, 1979.
- [31] RATSIZAFY Claude Charles. Etude de la fraction lipidique des graines de quelques palmiers de la région de perinet-Brickaville. Mémoire de fin d'études. Département Industries Agricoles et Alimentaires. ESSA, 1980.
- [32] RAZAFIMAHLEO Ida Nirina. Contribution à l'étude de la stabilisation de la latérite par utilisation de la paille de riz : approche chimique. Mémoire de fin d'étude de DEA, Sciences des Matériaux et Métallurgie. ESPA, 2006.
- [33] RAZAFIMANDIMBY née RAHARIVAO Anjaramalala. Etude physique et physico-chimique de gisement d'argiles malgaches, intérêt économique. Thèse de Doctorat ès-sciences. Université d'Antananarivo, 1987.
- [34] RAZAFINDRAINIBE Raphaël Nantenaina. Huile de palme et huile de palmiste : Etudes antérieurs, contribution à un essai de valorisation de la matière grasse. Mémoire de fin d'étude, Département Industries Agricoles et Alimentaires, ESSA, 1983-1986.
- [35] RAZAKAVOLOLONA Riana. Contribution à l'étude de stabilisation du matériau latérite. Mémoire de fin d'étude de DEA, Sciences des Matériaux et Métallurgie. ESPA, 2003.
- [36] SURRE Christian, ZILLER Robert. Le palmier à huile, N° 242. Paris : Maisonneuve et Larousse, 1963 ; 225 p.

WEBOGRAPHIE

- [37] <http://www.palms.org/palmsjournal/index.html>
- [38] <http://www.cenipalma.org/index.shtm>
- [39] <http://www.plantapalm.com/>
- [40] <http://www.chez.com/palmiers/>
- [41] <http://www.hydraform.com>

ANNEXES

ANNEXE I**LE DETAIL DE LA FABRICATION D'HUILE DE PALME**

Le détail des de fabrication rencontrés dans l'usine de la SOMAPALM se présente comme suit :

✧ **Stérilisation :**

Elle a une triple objectif : inactiver la lipase du fruit qui est thermolabile, coaguler les matières azotées et mucilagineuses pour empêcher la formation d'émulsion dans l'huile brute au cours de la clarification, améliorer l'extraction. L'opération s'effectue dans un stérilisateur horizontal et cylindrique, à l'intérieur duquel les régimes sont placés dans des chariots. La stérilisation est réalisée par trois remplissage de vapeur 3 bars à des pressions allant en croissant et intercalés d'une détente brusque : 1,5 kg/cm² pendant 5 mn, 2 kg/cm² pendant 7 min et 2,25 kg/cm² pendant 20 mn.

✧ **Egrappage :**

Il consiste à séparer les fruits de la rafle à partir des régimes stérilisées, encore chauds. L'appareil utilisé est un égrappoir cylindrique, du type cage d'écureuil, légèrement incliné et tournant autour d'un axe. L'espacement des barreaux (5 cm) permet le passage des fruits et la rétention des rafles.

✧ **Malaxage :**

Il permet le détachage de la pulpe des noix et l'éclatement des cellules oléifères. Le malaxeur utilisé est un appareil cylindrique et vertical, dans lequel tourne un arbre muni de pales. Cette opération est réalisée à 90 -100 °C par injection de vapeur 3 bars.

✧ **Extraction :**

La méthode actuellement acceptable consiste à extraire l'huile de palme, uniquement par pression, tout en ménageant l'amande. Elle se réalise dans une presse continue à vis ou « expeller », où la pâte malaxée est pressée sans séparer les noix. Une pression de 100 kg/cm² est suffisante, plus élevée, elle provoquerait l'éclatement des noix.

✧ **Clarification :**

Elle a pour but de se débarrasser des éléments entraînés avec l'huile (particule solide, boues, eau). La clarification comprend un certain nombre d'opérations, les plus important sont : élimination des particules solides au moyen d'un tamis vibrant, décantation de l'huile dans un clarificateur statique par injection de vapeur 3 bar à 90-100 °C, déshydratation sous vide de l'huile chaude dans un déshydrateur.

ANNEXE II

METHODE D'ANALYSE DES ACIDES GRAS

A –PREPARATION DES ESTERS METHYLIQUES D'ACIDES GRAS

Réactif pour catalyser l'acide :

- Méthanol sulfurique 3 %
Mettre 1,5 ml d'acide sulfurique concentré de densité 1,98 dans une fiole de 50 ml et ramener le volume à 50 ml de méthanol
Réactifs : - méthanol purona (PROLABO)
 - H_2SO_4 ($d = 1,98$)
- Potasse éthanolique.
Dissoudre 11,22 g d'hydroxyde de potassium dans de l'éthanol absolu ou 95° dans une fiole de 100 ml, ramener le volume ensuite jusqu'au trait avec l'éthanol.
Réactifs : - hydroxyde de potassium KOH pastille (PROLABO).
 - éthanol absolu ou 95°.
- HCl 5 N ;
- Hexane ;
- Eau distillée ;
- Sulfate de sodium (Na_2SO_4).

Matériels et appareillages :

- Pipette graduée de 5 ml
- Fioles jaugées de 100 ml, 50 ml ;
- Ballons à col rodé de 100 ml, 50 ml ;
- Réfrigérant à boule ;
- Erlenmeyer ;
- Ampoule à décanter ;
- Etuve ;
- Rotavapor ;
- Plaque chauffante ;
- Bain-marie

Mode opératoire :

1 - Saponification des acides gras :

- Peser 200 mg de graisse ou huile dans un petit ballon à col rodé de 50 ml ou dans un Erlenmeyer de 50 ml.
- Porter à l'étuve à 80 °C pendant 30 mn ou au bain-marie.
- Refroidir puis ajouter 5 à 10 ml d'eau distillée.
- Ajouter 2 x 6 ml d'hexane.
- Dans une ampoule à décanter, soutirer l'insaponifiable (phase hexanique ou phase supérieure).
- Ajouter à la phase aqueuse (ou phase savonneuse) 4 ml d'acide chlorhydrique (HCl) 5 N.
- Ensuite, extraire les acides gras libres avec 3 x 6 ml d'hexane.
- Rassembler la phase hexanique dans un ballon à col rodé puis évaporer sous vide pour récupérer l'acide gras.
- Conserver le produit obtenu dans le réfrigérateur (4 °C) à l'opération de méthylation.

2- Méthylation des acides gras :

- Ajouter 4 ml de méthanol sulfurique à 3 % au produit précédemment obtenu.
- Porter à l'ébullition au bain-marie pendant 10 à 20 min (réaction complète à ébullition).
- Laisser refroidir puis ajouter 4 à 10 ml d'eau distillée.
- Extraire les acides méthyliques 4 ml d'hexane (trois fois) dans une ampoule à décanter ;
- Récupérer les fractions hexaniques ensuite laver 3 fois avec 5 ml d'eau distillé ;
- Rassembler la phase hexanique dans un Erlenmeyer puis sécher avec du sulfate de sodium pour éliminer les traces d'eau.

- Filtrer dans un ballon à col rodé puis évaporer au rotavapor.
- Le produit ainsi récupéré est analysé en chromatographie en phase gazeuse CPG.

B – ANALYSE EN CHROMATOGRAPHIE EN PHASE GAZEUSE (CPG)

✦ Conditions opératoires :

- colonne : capillaire, en silice fondue, RTX-WAX (30 m x 0.25 mm x 0.25 µm)
- Four : 200 °C (isotherme)
- Gaz vecteur : Hydrogène
- Pression en tête de colonne : 0.6 bar
- Volume injecté (automatique) : 0.5 µl
- Surfaces (% relatifs) : calculées sur colonne moyennement polaire.

✦ Identification des pics :

L'identification des acides gras a été réalisée en appliquant la formule pour le calcul des longueurs de chaînes équivalentes ou LCE.

$$LCE = n-2 \frac{\log\left(\frac{t'_r}{t'_n}\right)}{\log\left(\frac{t'_n - 2}{t'_n}\right)}$$

Où

n : nombre d'atomes de carbone de l'acide gras saturé pris comme référence (généralement, n = 18)

t'_r : temps de rétention, corrigé du temps mort, de l'acide gras à déterminer.

t'_n : temps de rétention, corrigé du temps mort, de l'acide gras saturé à n atomes de carbone.

t'_{n-2} : temps de rétention, corrigé du temps mort, de l'acide gras saturé à n-2 atomes de carbone.

Enfin, les valeurs expérimentales de LCE sont référées aux LCE des acides gras de ACKMAN et MORDRET de la banque de données.

Tableau récapitulatif des identifications d'acides gras par les méthodes chromatographiques :

Acides gras	LCE ^a			Autres confirmations		
	Experimentale	Littérature		Huile étalon	SiO ₂ /Ag	Littérature
		Ackman,	Mordret <i>et al.</i> ; 1977			
12:0	12.00			pa1miste	+	
13:0	13.00			suif	+	
i-14:0	13.51			suif	+	
14:0	14.00			pa1miste	+	
14:1n-7	14.28	14.27			+	
i-15:0	14.51	14.59	14.52	suif	+	
ai-15:0	14.67	14.71	14.68	suif	+	
15:0	15.00			suif	+	
15:1n-8	15.22	15.22			+	
i-16:0	15.51	15.54	15.52		+	
ai-16:0	15.66				+	
16:0	16.00			pa1me	+	
16:1n-7	16.25	16.24	16.27	HFM ^b ,suif	+	
i-17:0	16.52	16.51	16.51	HFM,suif	+	
ai-17:0	16.66	16.69	16.66	HFM,suif	+	
16:2n-4	16.84			HFM	+	1
17:0	17.00			HFM,suif	+	
17:1n-8	17.22	17.21	17.20	HFM,suif	+	
i-18:0	17.53	17.51	17.51		+	
ai-18:0	17.66				+	
17:2 ?	17.73				+	
18:0	18.00			pa1miste,soja	+	
18:1n-9	18.20	18.18	18.20	soja	+	
18:1n-7	18.27	18.27	18.27	HFM	+	
18:2n-6	18.66	18.62	18.58	soja	+	
18:2n-4	18.82				+	2
18:3n-6	18.96	18.92	18.90	HFM	+	
19:1n-10?	19.12				+	3
18:3n-3	19.25	19.23	19.23	soja,HFM	+	
18:4n-3	19.53	19.53		HFM	+	
20:0	20.00			arachide	+	
20:1n-9	20.16	20.18	20.15	arachide	+	
20:2n-6	20.65	20.62	20.61		+	
20:3n-6	20.85	20.88	20.86		+	
20:4n-6	21.09	21.07	21.06	HFM	+	
20:3n-3	21.25	21.24	21.27		+	
20:4n-3	21.53	21.50		HFM	+	
20:5n-3	21.70	21.68	21.67	HFM	+	
22:4n-6	23.07	23.03			+	2
22:5n-6	23.30	23.29			+	2
22:5n-3	23.70	23.65		HFM	+	
22:6n-3	23.91	23.92		HFM	+	

a Mesurer sur colonne capillaire de CARBOW AX 20M ; b HFM: huile de foie

ANNEXE III

ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'HUILE

A- Analyse physique de l'huile

1- Densité relative à 20 °C

La densité relative d'une huile végétale est le rapport de la masse d'un certain volume d'huile à 20 °C à la masse d'un égal volume d'eau distillée à 20 °C.

Peser successivement deux volumes égaux d'huile et d'eau distillée à la température de 20 °C et à l'aide d'un pycnomètre. La densité relative est donnée par la formule suivante :

$$d_{20}^{20} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

Avec m_0 est la masse du pycnomètre (en g)
 m_1 est la masse du pycnomètre rempli d'eau (en g)
 m_2 est la masse du pycnomètre rempli d'huile (en g)

2 - Indice de réfraction

L'indice de réfraction d'une huile végétale est le rapport entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction d'un rayon lumineux de longueur d'onde déterminée, passant dans l'huile maintenue à une température constante. La température de référence est 20 °C.

Suivant le type d'appareil utilisé, soit par mesurage direct de l'angle de réfraction, soit par observation de la limite de réflexion totale, l'huile doit être maintenue dans des conditions d'isotropisme et de transparence.

L'indice de réfraction η à la température t est donné par la formule :

$$\eta^t = \eta^{t'} + 0.0004 (t' - t)$$

$\eta^{t'}$ est la valeur de la lecture, obtenue à la température t' à laquelle a été effectuée la détermination.

B- Analyse chimique de l'huile

1- Indice d'acide : Norme NF T 60-204 Décembre 1968

C'est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaire pour neutraliser les acides gras libres présents dans 1 g de corps gras.

- Peser à 0.01 g près, dans la fiole conique de 250 ml, de 5 à 10 g de l'échantillon ;
- Ajouter 100 ml d'éthanol 95 % v/v neutralisée portée au voisinage de l'ébullition avant l'emploi ;
- Titrer, en agitant énergiquement avec la solution éthanolique de KOH 0.1 N (si nécessaire 0.5 N) jusqu'au virage de l'indicateur (phénolphthaléine 1g pour 100 ml d'éthanol 95 % V/V).
- Noter le volume versé.

L'indice d'acide I_A est égal à :

$$I_A = \frac{56.1 \times V \times N}{M}$$

V désigne le volume d'hydroxyde potassium utilisé.
 Où N est sa normalité
 M masse de la prise d'essai en g

2- Indice de saponification

C'est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium nécessaire pour saponifier 1 gramme de matière grasse.

- Peser, à 0.001 g près, dans la fiole conique, environ 2 g de corps gras.
- Ajouter 25 ml de KOH 0.5 N éthanolique. Adapter au réfrigérant la fiole contenant la prise d'essai et la solution éthanolique d'hydroxyde de potassium 0.5 N.
- Porter à légère ébullition en agitant de temps en temps.
- Après 60 mn, arrêter le chauffage (prolonger cette ébullition pour les corps gras à haut point de fusion).
- Ajouter 4 à 5 gouttes de phénolphtaléine (1 g dans 100 ml d'éthanol 95 % V/V).
- Titrer la solution chaude avec une solution aqueuse d'HCl titrée 0.5 N.
- Faire un essai à blanc dans les mêmes conditions.

L'indice de saponification I_s est donné par la formule suivante :

$$I_s = \frac{(V_0 - V_1) \times T \times 56.1}{M}$$

Avec V_0 : volume de la solution d'HCl utilisée pour l'essai à blanc en ml

V_1 : volume de la solution HCl utilisée pour la détermination en ml

T : titre exact de la solution HCl utilisée en moles par litre

M : masse en gramme de la prise d'essai

ANNEXE IV

IDENTIFICATION DES LATÉRITES

A- IDENTIFICATION SUR TERRAIN

I- Analyses préliminaires

I.1- Examen visuel :

Il permet d'évaluer la quantité et la grosseur des particules, des constituants les plus volumineux, et par déduction de celles des particules les plus fines. La fraction fine est constituée par les éléments de diamètre inférieur à 0,08 mm. Cette dimension se trouve à la limite de la visibilité à l'œil nu.

I.2- Examen de l'odeur

On sent la terre que l'on vient d'extraire. Elle est de nature organique si l'odeur évoque le « moisi ». Cette odeur est amplifiée si l'on chauffe ou humidifie la terre.

I.3- Essai de morsure

On mord un pincé de terre et on l'écrase légèrement entre les dents.

- La terre est sableuse si elle crisse avec une sensation désagréable.
- La latérite est silteuse si le crissement ne donne pas une sensation désagréable.
- La terre est argileuse si l'on éprouve une sensation lisse ou farineuse ou si une pastille de terre sèche est collante quand on y applique la langue.

I.4- Essai de toucher

L'impression obtenue au toucher permet de déterminer sur place avec exactitude suffisante, le composant de base d'un sol.

On triture la terre débarrassée de ses grosses particules en effritant un échantillon entre les doigts et la paume de la main ; la terre est sableuse si l'on éprouve une sensation de rugosité et si elle ne représente aucune cohésion. La terre est silteuse si l'on a l'impression d'une faible rugosité et si l'échantillon humidifié devient moyennement plastique. La terre est argileuse si, à l'état sec, elle présente des mottes ou concrétion qui résistent à l'écrasement et si elle devient plastique et collante lorsqu'elle est humide.

I.5- Essai au lavage

On se lave les mains avec de la terre légèrement mouillée. La terre est sableuse si les mains se rincent facilement. La terre est silteuse si elle paraît pulvérulente et si les mains ne sont pas trop difficiles à rincer.

I.6- Essai de l'éclat

Une boulette de terre légèrement humide est coupée en deux avec un couteau. Un aspect terne de la surface entaillée indique une latérite plutôt silteuse. Un aspect brillant indique que l'on est en présence d'une latérite argileuse plastique.

I.7- Essai de l'adhérant

On prend une masse de terre humide qui ne colle pas aux doigts et on y enfonce une spatule ou un couteau. La terre est très argileuse si la spatule s'enfonce difficilement et si la terre y adhère lorsqu'on la retire. La terre est moyennement argileuse si la spatule pénètre sans grande difficulté et si la latérite y adhère quand on la retire. La latérite est peu argileuse si l'on pénètre et retire la spatule sans effort même si elle demeure sale lorsqu'on la retire.

I.8- Essai de la bouteille ou Sédimentation

Les précédant essai ont permis entre autre de se faire une idée de la texture de la terre et des quantités de ses fractions distinctes ainsi que de la qualité de la fraction fine, mais cette idée

demeure somme toute assez grossière. Il est possible de réaliser un test de sédimentation simplifiée, sur le terrain, qui apportera quelques précisions sur les qualités des fractions texturales. Le matériel utilisé est simple : un flacon de verre transparent, cylindrique à fond plat, de capacité minimale de 1 L et doté d'un col assez large pour pouvoir l'obturer de la main. La procédure est la suivante. Remplir le flacon avec de la latérite jusqu'à $\frac{1}{4}$ de sa hauteur et compléter les $\frac{3}{4}$ du volume avec de l'eau pure. Obturer l'ouverture et agiter vigoureusement. Laisser décanter le mélange et 1 h après on agite de nouveau et on laisse décanter. Environ 45mn après, on peut constater que les sables se sont déposés au fond du flacon, surmontés d'une couche de silt qui couronne une couche d'argile. Au-dessus de l'eau surnagent les débris organiques ; restent éventuellement en suspension dans l'eau les colloïdes extrêmement fins. Normalement ce n'est que 8 h après que l'on mesure les hauteurs des différentes couches précipitées. On mesure d'abord la hauteur totale des sédiments (100%) sans tenir compte de la hauteur d'eau claire qui les recouvre chaque couche distincte.

I.9- Retrait

Le test de retrait linéaire ou test d'Alcock est réalisé à l'aide d'une boîte en bois de 60 cm de long, 4 cm de profondeur. La faces internes de la boîte sont graissées avant de la remplir de latérite humide à la T.E.O. la terre est tassée dans les angles de la boîte avec une petite palette en bois qui sert aussi à aplanir la surface. La boîte remplie est exposée au soleil 3 jours : après ce délai, on pousse la masse de terre sèche et durcie en l'une des extrémités de la boîte et l'on mesure le retrait total de la terre en l'autre extrémité de la boîte.

II- Analyses visuelles des fines

Les analyses sont réalisées sur la fraction de « mortier » dont le diamètre est inférieur à 0,4 mm ; isolé par tamisage ou par le test de décantation à partir de la fraction de grains de diamètre à 2 mm.

II.1- Test de résistance à sec

Préparer 2 ou 3 pastilles de terre molle ; faire sécher les pastilles au soleil ou au jour jusqu'à ce qu'elles soient totalement sèches. Casser ensuite la pastille de terre et essayer de la réduire en poudre entre le pouce et l'index.

- Si la pastille est très difficile à casser et elle se brise avec un claquement, tel un biscuit sec et qu'on ne peut l'écraser entre le pouce et l'index, ou seulement l'effriter sans la réduire en poudre, on a une argile presque pure.

- Si la pastille n'est pas difficile à casser, et si on arrive à la réduire en poudre après quelques efforts, on a une argile silteuse ou sableuse.

- Si la pastille se casse facilement et se réduire en poudre sans aucune difficulté, on a un silt ou sable fin, peu d'argile.

II.2- Test de ressuage

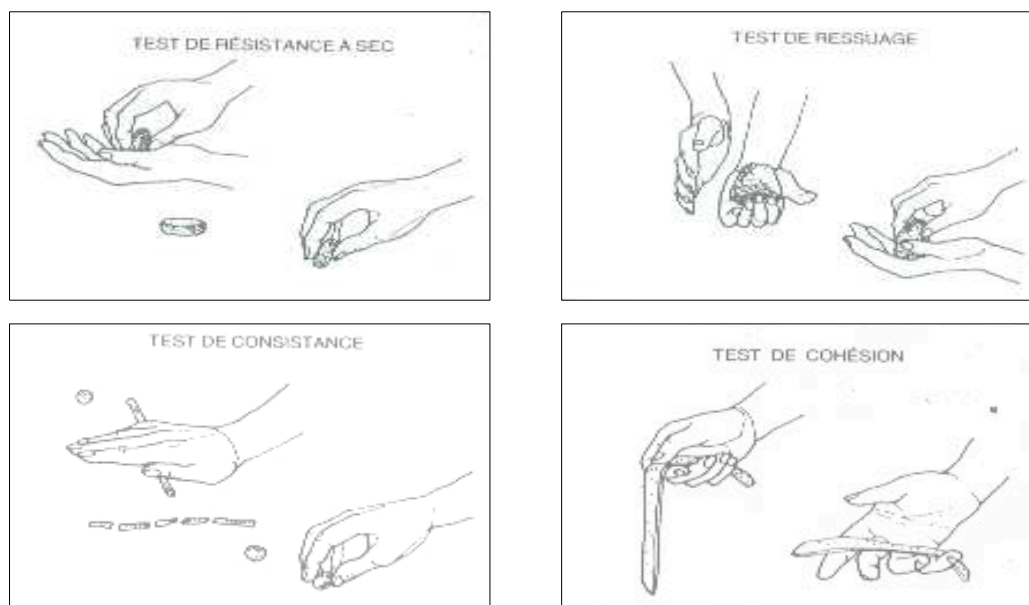
Confectionner une boule de « mortier fin » de 2 à 3 cm de diamètre. Mouiller la boule de façon à ce qu'elle se tienne sans coller au doigt. Aplatir légèrement la boule dans la paume de la main exemple : extension horizontale et du tranchant de l'autre main, frapper vigoureusement la paume portant la boule aplatie pour en faire sortir l'eau. L'aspect de la latérite peut être lisse, brillant ou gras. Presser ensuite la boule plate entre le pouce et l'index et observer les réactions, interpréter ensuite. Si 5 à 6 coups suffisent pour faire venir l'eau à la surface de la boule et, si en pesant, l'eau disparaît puis la boule s'effrite, on a des sables très fins ou des silts grossiers. Si 20 à 30 coups sont nécessaire pour que l'eau vienne à la surface et en pesant, la boule ne craquelle pas ni s'effrite mais s'aplatit seulement, on a un silt légèrement plastique ou argile silteuse. S'il n'y a aucune réaction de ressuage en surface et qu'en pesant, la boule demeure brillante, on a une terre argileuse.

II.3- Test de consistance

Confectionner une boule de « mortier fin » de 2 à 3 cm de diamètre. Mouiller pour pouvoir modeler sans que la terre soit collante. Rouler la boule sur une surface plane et propre jusqu'à obtenir peu à peu un cordon mince. Si le cordon casse avant un diamètre de 3 mm, la terre est trop sèche, rajouter un peu d'eau. Le cordon doit se fractionner lorsque son diamètre est égal à 3 mm. Le cordon brisé, reconstituer une boulette et écraser entre le pouce et l'index, interpréter. Si la boulette reconstituée s'écrase difficilement, ne se fissure pas ni ne s'émiette, le sol contient beaucoup d'argile. Si la boulette reconstituée se fissure et s'émiette, peu d'argile. S'il est impossible de reconstituer une boulette sans qu'elle ne se casse, ni ne s'émiette : beaucoup de sable et silt, très peu d'argile. Si les cordons et les boulettes reconstituées sont mous et spongieux : terre organique.

II.4- Test de cohésion

Confectionner un rouleau de terre de la taille d'un cigare de diamètre égale à 12 mm. La latérite ne colle pas et peut être modelée en un cordon continu de diamètre égal à 3 mm. Le cordon est placé dans le paume de la main, on aplatit entre le pouce et l'index en commençant par une extrémité jusqu'à obtenir un ruban de 3 à 6 mm de largeur (manipuler avec précaution), pour obtenir la plus grande longueur possible. Mesurer la longueur avant que le ruban ne se casse. Si le ruban casse avant 9 à 10 cm : faible teneur en argile. Si le ruban casse avant 25 à 30 cm : beaucoup d'argile. Pas de ruban : très faible teneur en argile.



B - ESSAI EN LABORATOIRE

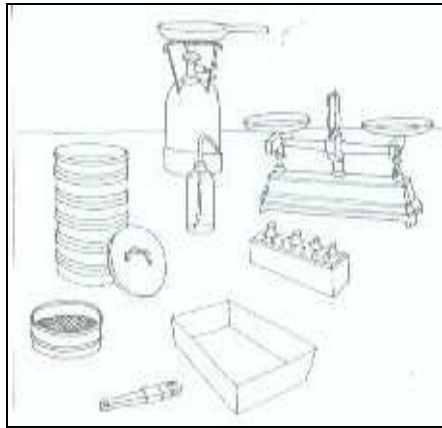
On entre dans un essai d'identification en laboratoire si les analyses sur terrain n'ont pas permis une classification assez précise. Dans ce cas, on va déterminer la latérite à l'aide de différents tests suivants.

B.1 - Test granulométrique

Le but de ce test consiste à déterminer la texture de la latérite et d'en déduire les proportions des particules, de les classer ensuite en fonction de leur grosseur.

Le principe, c'est de tamiser la latérite en faisant superposer le tamis par ordre de croissance (le plus fin en dessous), de diamètre supérieur 0.08 mm. Puis évaluer le pourcentage des grains obtenus pour chaque tamis.

Enfin, on établit le diagramme de granularité : la quantité de grains passant le tamis (%) en fonction de la taille de grains (mm). C'est la courbe traduisant sa composition granulométrique.



B.2 - Test de plasticité :

C'est un test qui détermine la plasticité d'un sol.

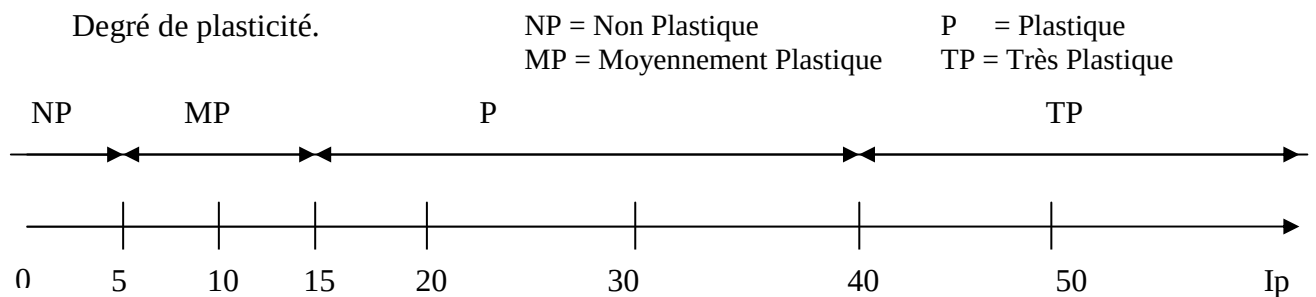


Figure n°8 : Valeur de plasticité

◦ Les limites d'Atterberg

Les limites d' Atterberg, qui consistent à caractériser la cohésion d'un sol avec la teneur en eau, sont déterminées après le traçage du diagramme de granulométrie, et sont données par la limite de plasticité et la limite de liquidité. Elles nous intéressent beaucoup car elles donnent des indications sur les principaux états hydriques du sol.

Voici donc l'échelle d'état d'un sol en fonction de sa teneur en eau :



Echelle d'état d'un sol en fonction de sa teneur en eau

◦ Indice de consistance (Ic)

La consistance d'un sol fin ou cohérent peut être appréciée par un essai de résistance mécanique (essai de rupture en compression simple, essai de poinçonnement ou de pénétration). Cette consistance varie considérablement avec sa teneur en eau et elle est donnée par la formule suivante :

$$I_c = \frac{W_l - W}{W_l - W_p}$$

Où : Ic est l'indice de consistance

W_l est la limite de liquidité (%)

W_p est la limite de plasticité (%)

W est la teneur en eau naturelle d'un sol

◦ **Indice de plasticité (Ip)**

Il provient de la formule :

$$I_p = W_L - W_p$$

Où I_p : indice de plasticité

W_p : limite de plasticité (%)

W_L : la limite de liquidité (%)

En pratique, c'est l'indice de plasticité qui est important pour déterminer le coefficient d'Activité (C_a) avec lequel sont choisis le liant et son dosage. Ce coefficient d'activité précise l'activité de l'argile.

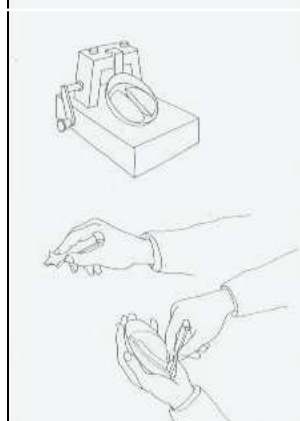
◦ **Les mesures à réaliser**

♦ La mesure de la limite de liquidité (W_L) est déterminée par l'appareil de Casagrande. Elle est définie par la teneur en eau frontière entre l'état plastique et l'état liquide d'un sol.

♦ La limite de plasticité (W_p), est mesurée par d'autre appareil (voir figure). Elle est définie par la teneur en eau frontière entre l'état plastique et l'état solide d'un sol.

Il suffit alors de mesurer la teneur en eau correspondante. Cet état est déterminé à l'aide d'un rouleau de sol de 3 mm d'épaisseur qui casse quand on le soulève en son milieu de 1-2 cm. On sèche le rouleau à l'aide du courant d'air chaud en l'étalant, l'interpréter.

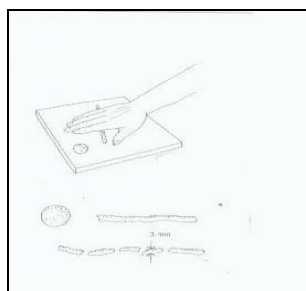
Appareil de Casagrande



Description des matériels :

- Spatule
- Séchoir
- Tamis (0.4 mm)
- Etuve 60°C
- Balance de précision au mg
- Marbre (2*20*30 environ)

Figure n°10 : Appareil de mesure de la limite de liquidité et description des matériels



Description des matériels :

- Spatule
- Séchoir
- Tamis (0.4 mm)
- Etuve 60°C
- Balance de précision au mg
- Marbre (2*20*30 environ)

Appareil de mesure de la limite de plasticité et description des matériels

B.3 - Essai PROCTOR

L'essai Proctor (essai de compressibilité) n'est pas un essai d'identification classique du sol, mais c'est un essai de comportement sous une sollicitation donnée lorsque les meilleurs résultats sont obtenus.

Mode opératoire : La mesure consiste sur la teneur en eau croissante des échantillons des sols. On détermine après compactage sa densité sèche et on trace après la courbe de cette densité en fonction de la teneur en eau.

Le maximum de teneur en eau obtenu définit la densité sèche maximale Proctor ($\gamma_{d \text{ opt}}$) et la teneur en eau optimale Proctor (W_{opt}).

Voici la relation existante entre eux :

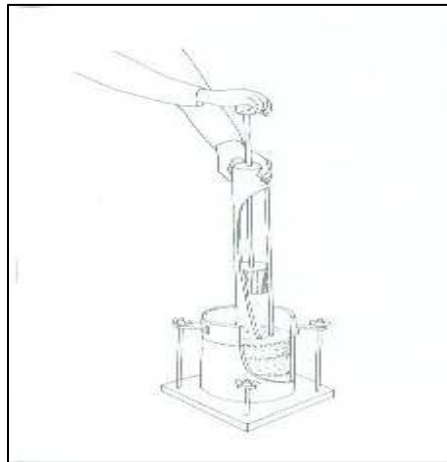
$$\gamma_d = f(W_{\text{opt}})$$

γ_d = poids volumique exprimé en g/cm³

W_{opt} = teneur en eau optimale exprimée en pourcentage pondérale

Essai Proctor Standard Aasho

Poids du pilon : 2.496 Kg
 Diamètre du pilon : 5.08 cm
 Hauteur de chute : 30.5 cm
 Volume du moule : 949 cm³
 Diamètre du moule : 10.16 cm
 Hauteur du moule : 11.70 cm
 Poids de la terre : 1.5 Kg
 Energie : 6j/cm³
 Coup par couche : 25
 Hauteur de couche : 4 cm
 Couches par échantillon : 3



Test de compressibilité ou essai PROCTOR

B.4 - Masse volumique d'un sol

La masse volumique, c'est le rapport de la masse totale d'une certaine quantité de sol à son volume. Elle est exprimée par la formule :

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Où: ρ = masse volumique de l'échantillon (Kg/l)

m = masse de l'échantillon (Kg)

v = volume de l'échantillon (l)

ANNEXE V

DETERMINATION DES ELEMENTS CHIMIQUES

✦ Dosage Ca^{2+} et Mg^{2+}

Mode opératoire

- Préparer une prise d'essai de 50 ml.
- Ajouter 3 ml de NaOH 1 N et quelques gouttes de solution de bleu d'eriochrome.
- Titrer la solution avec EDTA jusqu'au virage au violet.
- Noter V_1 le volume de EDTA versé
- Ajouter 3,2 ml de HCl 1N et agiter pendant 1 mn jusqu'à dissociation totale du précipité.
- Verser 5 ml de solution tampon ammoniacal de pH 10.
- Ajouter 1 gouttes de N.E.T bien mélanger.
- Titrer la préparation avec de la solution d'EDTA jusqu'au virage au bleu.
- Noter V_2 le volume d'EDTA correspondant au virage.

✦ Dosage de Zn

Méthode spectrophotométrie

MATERIELS ET REACTIFS

- verrerie courante de laboratoire
- Spectrophotomètre UV réglé à 650 nm
- Solution d'HCl concentré
- Solution de NH_4Cl (10 %)
- Solution de sulfite de Na (10 %)
- Solution de ferrocyanure de K (0,5 %)
- Solution étalon de Zn (0,01 g/l)
- P.E = 25 ml d'eau à analyser

PREPARATION

Solution étalon de Zn (0,01g/litre)

Dissoudre dans 1000 ml d'eau, 2,467 g de sulfate de Zn.

Prélever 10 ml de solution obtenue et diluer à 1000 ml avec de l'eau distillée.

METHODOLOGIE

1°) Trace de la courbe d'étalonnage

Dans une série de 7 tubes bouches numérotés : T et 1 à 6. Introduire

Numéro de tubes	T	1	2	3	4	5	6
Solution de 4:b 0,01 g/L (ml)	0	1,25	2,5	3,75	5	6,25	12,5
Eau distillée (ml)	25	23,75	22,5	21,25	20	18,75	12,5
HCl concentré (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Solution de NH_4Cl (10 %) (ml)	20	20	20	20	20	20	20
Sulfite de Na (goutte)	1	1	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/L de Zn	0	0,5	1	1,5	2	2,5	5

Laisser reposer quelques minutes, ajouter dans chacun des tubes 1 ml de solution de ferrocyanure de K (0,5 %). Agiter .laisser 5 mn à l'obscurité et effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 650 nm.

2°) Mesure spectrophotométrie sur l'eau à analyser

Introduire dans une éprouvette bouchée de 50 ml, 25 ml d'eau à analyser. Ajouter:

1 ml HCl concentré,

20 ml de NH_4Cl (10 %)

1 goutte de sulfite de Na (10%)

Laisser reposer quelques minutes. Ajouter 1ml de ferrocyanure de potassium

Agiter et laisser à l'obscurité pendant 5 minutes.

Mesurer, la valeur lue est égale Zn en mg/litre.

★ Dosage de Fe_2O_3 par spectrophotométrie UV

1. PRINCIPE DE BASE

Pour effectuer un dosage spectrophotométrique UV de Fe_2O_3 d'une variété de roches et de sols, 3 étapes sont nécessaires :

Mise en solution de la roche ou du sol: On obtient une solution d'attaque de 100 ml

1. Neutralisation par de la soude ou des acides concentrés selon les cas.

2. Mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde 480 nm

2- MESURES SPECTROPHOTOMETRIQUES UV

2.1 Préparation de la solution étalon de Fe(III) à 2,5.10.3 M

Peser 0,1205 g d'alun ferrique $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2\text{NH}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$.Dissoudre dans un peu d'eau distillée + 2 gouttes de H_2SO_4 concentré. Ramener à 100 ml

2.2 Trace de la courbe d'étalonnage

Numéros de fioles	T	1	2	3	4	5
Solution étalon Fe(III) (ml)	0	0,2	1	1,5	2	2,5
H_2SO_4 (10 %) (ml)	10	10	10	10	10	10
KSCN (0,5 M) (ml)	20	20	20	20	20	20
Eau distillée (ml)	100	100	100	100	100	100
Correspondance 10 g Fe (III) /litre	0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5

Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 480 nm.

2.3- Mesures spectrophotométrique de la solution à analyser

P.E = 25 ml de solution a parfaitement neutralisée et de pH = 2-3.

Ajouter successivement :

10 ml H_2SO_4 (10 %)

20 ml KSCN (0,5 M)

Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 480 nm.

On obtient $C = [\text{Fe (III)}]$ gramme/litre.

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{0,572 C}{\text{Masse échantillon}}$$

★ Dosage de PO_4^{3-}

Méthode spectrophotométrique

1) MATERIELS ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Spectrophotomètre UV réglé à 700 ou 800 nm
- Acide ascorbique
- Solution de Molybdate d'ammonium à 40 g/litre
- H_2SO_4 (20 %)
- Solution de tartrate double de K et d'antimoine
- Solution d'acide oxalique à 10 %
- Réactif révélateur de PO_4^{3-}
- Solution étalon de PO_4^{3-} à 1 mg/litre

2) PREPARATION

-Solution étalon de PO_4^{3-} à 1 mg/litre

Dissoudre 0,2226 g de NaH_2PO_4 préalablement séché à l'étuve réglée à 100 °C dans 100 ml d'eau distillée. Prélever 30 ml et compléter à 300 ml avec de l'eau distillée...

- Solution de H_2SO_4 (20 %)

Peser 20 g de H_2SO_4 et compléter jusqu'à 100 g avec de l'eau distillée.

- Solution de Molybdate d'ammonium à 40 g/litre

Dissoudre 40 g de Molybdate d'ammonium dans 1000 ml eau. Conserver dans un récipient en polyéthylène et à 4 °C.

- Solution de tartrate double de K et d'antimoine

Dissoudre 0,274 g de solution de tartrate double de K et d'antimoine dans 100 ml d'eau distillée.

- Acide ascorbique

Dissoudre 5 g d'acide ascorbique dans 100 ml d'eau distillée.

Réactif révélateur de PO_4^{3-}

Mélanger 50 ml H_2SO_4 (20 %) + 5 ml de solution de tartrate double de K et d'antimoine + 15 ml solution de molybdate d'ammonium à 40 g/L. Compléter à 100 ml avec de l'eau distillée. A conserver au réfrigérateur à 4 °C.

3) METHODOLOGIE

PE = 20 ml eau à analyser.

1°) Trace de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées de 25 ml numérotées : T et 1 à 5, introduire :

Numéro de fioles	T	1	2	3	4	5
Sol étalon PO_4^{3-} (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau distillée (ml)	20	19	15	10	5	0
acide ascorbique (ml)	1	1	1	1	1	1
Réactif révélateur de PO_4^{3-} (ml)	4	4	4	4	4	4
Bien mélanger						
Eau distillée (ml)	0	1	5	10	15	20
Attendre 30 mn pour une stabilisation de la coloration						
Correspondance En mg /litre PO_4^{3-}	0	2,742. 10 ⁻³	0,0137	0,0274	0,041	0,0548

Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm.

2°) Mesure spectrophotométrique sur l'eau à analyser

La prise d'essai (PE) de 20 ml d'eau à analyser doit avoir pH= 7, ajuster si nécessaire.

Traiter comme lors de la trace de la courbe d'étalonnage.

Pour PE= 20 ml: $[PO_4^{3-}]$ en mg /litre= valeur lue.

★ Dosage de Cr (VI)

Méthode spectrophotométrique

1) MATERIELS ET REACTIFS

- Verrerie courante
- Spectrophotomètre UV réglé à 540 nm
- H_2SO_4 concentré
- H_2SO_4 (1/2)
- H_2SO_4 (1/10)
- Ethanol
- Ammoniaque (1/2)
- sulfite de Na
- $KMnO_4$
- NaN_3
- Acide diphénylcarbazine
- Solution étalon de chrome (0,001 g/l)

2) PREPARATION

-Solution étalon de Chrome à 0,001 g/litre

0,374 g $KCrO_4$ + 1000 ml eau. Prélever 10 ml de la solution préparée et ajuster à 1000 ml par de l'eau distillée

-Solution de sulfite de Na : 1,26 g de sulfite de Na + 1000 ml eau distillée

- Solution de $KMnO_4$: 0,632 g $KMnO_4$ + 100 ml eau

Solution de NaN_3 , 0,5 $KNaN_3$ + 100 ml eau

-Solution d'acide diphénylcarbazine

0,2 g Acide diphénylcarbazine +100 ml éthanol (95°) + 400 ml H_2SO_4 (1/10)

3) METHODOLOGIE

PE = 50 ml eau à analyser.

1°) Trace de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml numérotées : T et I à VIII, introduire :

Numéro de fioles	T	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Sol étalon Cr(VI) (ml)	0	0,25	0,50	0,75	1	2,5	5	7,5	10
Eau distillée (ml)	50	49,75	49,5	49,25	49	47,5	45	42,5	40
Acide di phenyl carbazine (ml).	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Correspondance en mg Cr(VI)	0	0,005	0,010	0,015	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2

Laisser au repos pendant 10 mn pour permettre un développement de la coloration
Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 540 nm.

2°) Mesure spectrophotométrique sur l'eau à analyser

Introduire dans une fiole jaugée bouchée, 50 ml d'eau à analyser + 2,5 ml Acide diphénylcarbazine. Agiter et laisser au repos 10 mn. Effectuer la mesure spectrophotométrique.

Pour PE= 50 ml.

**ANNEXE VI
EPROUVETTES EN LATERITE**



**ANNEXE VII
BRIQUES STABILISEES PAR LE LIANT CHAUX ET/ OU CIMENT**



TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 10

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I: GENERALITES SUR LE PALMIER À HUILE 3

I.1 - ORIGINE ET HISTORIQUE	3
I.2 - SYSTEMATIQUE DU PALMIER	3
I.3- DESCRIPTION BOTANIQUE	4
I.4 - VARIETES DE LA COQUE DU PALMIER	6
I.5 – ECOLOGIE DU PALMIER A HUILE	8
I.6 - AIRE GEOGRAPHIQUE DU PALMIER	9
I.7 - UTILISATION DU PALMIER A HUILE	9
I.7.1- Les régimes	10
I.7.2 - Le stipe et les feuilles	11
I.7.3 - Le bourgeon terminal et la sève	11
I.8 - PLANTES OLEAGINEUSES	11
I.9 - TECHNOLOGIE D'OBTENTION	12
I.10 - DESCRIPTION DU PROCESSUS DE FABRICATION	12
I.10.1 - Huile de palme	12
I.10.2 - Huile de palmiste	14
I.11- CARACTERISTIQUES DES HUILES DE PALMISTE	16
I.11.1 - Propriétés physiques	16
I.11.2 - Propriétés physico-chimiques	16
I.11.3 - Composition en acide gras	17
I.12 - RAFFINAGE	17
I.13 – PRODUCTION A MADAGASCAR	18

Chapitre II: GENERALITES ET RAPPELS SUR LES LATERITES..... 19

II. 1- DEFINITION	19
II.2- FORMATION DES LATERITES	19
II.2.1- Le climat	20
II.2.2- L'eau	20
II.2.3- La topographie	20
II.2.4- Les roches mères	20
II.2.5- La végétation	20
II.3- INTENSITE DE LATERISATION	20
II. 4- CLASSIFICATION DES LATERITES	21
II.4.1- Classification de LACROIX	21
II.4.2- Classification des latérites selon MARTIN et DOYENNE, 1930	21
II.4.3- Classification pédologique	21
II.5- CONSTITUANT DES LATERITES	22
II.6 – UTILISATION DES LATERITES	22
II.7 - LA NORMALISATION ET CONSTRUCTION EN TERRE	23
II.8 - LA STABILISATION DES LATERITES	24
II.9 - LES TECHNIQUES DE STABILISATION	24

II.9.1 - Stabilisation physique	24
II.9.2 - Stabilisation chimique	24
II.9.3 - La stabilisation mécanique	24
II.10 - LES STABILISANTS	25
II.10.1- Les stabilisants minéraux	25
II.10.1.1- Stabilisation au ciment	25
II.10.1.2 - Stabilisation à la chaux.....	26
II.10.2 - Les stabilisants organiques.....	26
II. 11 - LES ADDITIFS.....	27
II.11.1 - L'argile	27
II.11.2 - Le lait.....	27
II.11.3 – Le blanc d'œuf.....	27
II.11.4 – Adjuvant hydrofuge.....	27
II.11.5 - L'ail ou <i>Alium sativum</i>	28
II. 12 – METHODE DE STABILISATION	28
II. 12.1 - Densifier	28
II.12.2- Armer	28
II.12.3 - Enchaîner.....	28
II.12.4 - Lier	28
II.12.5 - Imperméabiliser.....	29
II.12.6 - Hydrofuger	29
II.13 - CARACTERISATION DES LATERITES STABILISEES	29
II.13.1 - La résistance à la compression Rc.....	29
II.13.2 - Résistance à la traction (R_t).....	30
II.13.3 - Résistance au cisaillement.....	30
II.13.4– Test de porosité.....	30
II.13.5 – Retrait (r) ou test d'Alcock.....	31
II.13.6 - Test d'érosion.....	31

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

INTRODUCTION	32
Chapitre I: VALORISATION DES AMANDES PALMISTES	33
I.1- HUILE DE PALMISTE	33
I.1.1 - Concassage du noyau de palme	33
I.1.2 - Extraction de l'huile d'amande.....	33
I.1.2.1 - Pressage à froid.....	34
I.1.2.2 - Pressage avec chauffage	34
I.1.3 - Purification de l'huile	34
I.1.3.1 - Procédé chimique.....	34
I.1.3.2 - Procédé naturel	35
I.1.4 - Analyse physico-chimique de l'huile	35
I.1.5 - Analyse des acides gras par chromatographie.....	35
I.1.6 – Utilisation de l'huile de palmiste	37
I.2 – TOURTEAU DE PALMISTE	38
I.2.1 – Teneur en protéines totales	38
I.2.1.1 – Délipidation du tourteau	38
I.2.1.2 - Détermination de la teneur en azote	39
I.2.2 – Teneur en eau et en matière volatile	40
I.2.2.1 – Principe	40

I.2.2.2 – Résultats des expériences.....	40
I.2.3 – Détermination des éléments chimiques	40
I.2.4 – Utilisation des tourteaux	41
I.3 – CONCLUSION.....	42
Chapitre II: VALORISATION DES COQUES DE PALME.....	43
II.1 – PREPARATION DES MATIERES PREMIERES	43
II.1.1 – Mise en œuvre de la fabrication des éprouvettes.....	43
II.1.1.1 - Broyage	44
II.1.1.2 - Criblage	44
II.1.1.3 - Dosage	44
II.1.1.4 - Malaxage	45
II.1.1.5 - Le moulage.....	45
II.1.1.6 - Le compactage.....	46
II.1.1.7 - Le démoulage	46
II.1.1.8 - Le séchage	46
II.1.2 – Présentation des matières premières.....	46
II.1.2.1 – Présentation de la latérite.....	46
II.1.2.2 - Présentation de coques de palme.....	48
II.2 – STABILISATION DES LATERITES PAR LES DIFFERENTS LIANTS	50
II.2.1 - Détermination de la teneur en eau.....	50
II.2.2 – Stabilisation avec le liant ciment	53
II.2.3 – Stabilisation avec le liant chaux	57
II.2.4 – Stabilisation avec liant ciment-chaux	61
II.2.5 - Essai sur la variation de la pression de compactage.....	63
II.3 – ESSAI SUR LA FAIBLE PRESSION DE COMPACTAGE	65
II.3.2 – Stabilisation de la latérite-coque avec le liant chaux.....	67
II.3.3 – Stabilisation de la latérite + coque avec le liant ciment	68
II.4 – CONFECTION DES BRIQUES STABILISEES ET DE BETONS LEGERES.....	70
II.4.1– Briques de terre stabilisée.....	70
II.4.2– Avantages et utilisation des blocs de terre stabilisée.....	72
II.4.3– Essai sur le béton léger	72
II.5 – CONCLUSION	73
CONCLUSION GENERALE.....	74
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	76
ANNEXES	