

MEMOIRE DE DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES (DEA)
EN BIODIVERSITE ET ENVIRONNEMENT
OPTION : BIOLOGIE VEGETALE



**ETUDE SUR LES ESPECES DE MORINGA ENDEMIQUES ET
CULTIVEES DANS LA REGION DE TOLIARA ET LEURS
UTILISATIONS. ESSAIS D'HYBRIDATION ENTRE *Moringa
oleifera*, *Moringa drouhardii*.**

Présenté par : ANDRIANANTENAINA Bernardin

Soutenu le 19 Avril 2013 devant les membres de jury composé par :

President : Professeur DINA Alphonse

Examineur : Docteur YOUSOUF JACKY Ibrahim Antho

Rapporteur : Professeur REJO FIENENA Félicitée

Rapporteur : Docteur SERGE Tostain

Année Universitaire :2012-2013

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation de l'Aire Protégée Andatabo – Saint Augustin au Sud de Toliara	5
Figure 2 : Indice d'efficacité de la saison humide (ISH : Somme des coefficients mensuels d'efficacité) du Faritany de Toliara.....	6
Figure 3 : Répartition géographique des différentes espèces de <i>Moringa</i>	9
Figure 4 : Relations génétiques entre les 13 espèces de l'espèce <i>Moringa</i>	9
Figure 5 : Aire de répartition de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	10
Figure 6 : Répartition de l'espèce <i>M. hildebrandtii</i>	10
Figure 7 : <i>Moringa drouhardii</i>	10
Figure 8 : <i>M. drouhardii</i> plantés dans la cour de CEDRATOM issus d'une ancienne pépinière...	12
Figure 9 : <i>M. drouhardii</i> plantés aux coins d'une tombe mahafale.....	12
Figure 10 : <i>M. hildebrandtii</i>	14
Figure 11 : Valeur nutritive de feuille de l'espèce <i>M. oleifera</i>	15
Figure 12 : <i>M. oleifera</i>	17
Figure 13 : Détails des données écrites sur les sachets.....	23
Figure 14 : Fleur zygomorphe de l'espèce <i>M. oleifera</i>	24
Figures 15 : Méthode de croisement.....	25

Figure 16 : Schéma des croisements interspécifiques réalisés.....	26
Figure 17 : Schéma simplifié d'extraction d'huile.....	28
Figure 18 : Extracteur soxhlet de laboratoire.....	30
Figures 19 : <i>Moringa drouhardii</i>	40
Figures 20: Gousses non mûres (a) et mûres (b) de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	42
Figures 21 : Graines (a) et amandes (b) de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	42
Figures 22 : Huiles de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	48
Figure 23 : Évolution de la charge bactérienne avant et après traitement.....	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Données climatologiques mensuelles de la station météorologique d’Andranomena – Toliara de 1996 à 2007.	7
Tableau 2 : Types de renseignements obtenus par les personnes ressources	21
Tableau 3 : Caractéristiques moyennes des arbres des trois sites enquêtés.....	40
Tableau 4 : Caractéristiques mesurées sur 50 arbres de l’espèce <i>M. hildebrandtii</i> à Toliara.....	43
Tableau 5 : Comparaison des fleurs des deux espèces de <i>Moringa</i>	44
Tableau 6 : Taux d’autofécondité des deux espèces <i>M. drouhardii</i> (M.d.) et <i>M. oleifera</i> (M.o.)	44
Tableau 7 : Taux d’allofécondité des deux espèces <i>M. drouhardii</i> (M.d.) et <i>M. oleifera</i> (M.o.)	45
Tableau 8 : Taux d’hybrides dans le croisement entre les deux espèces <i>M. drouhardii</i> (M.d.) et <i>M. oleifera</i> (M.o.)	45
Tableau 9 : Taux de viabilité des gousses suivant le type de croisement entre les deux espèces <i>M. drouhardii</i> (M.d.) et <i>M. oleifera</i> (M.o.) et le temps de maturation.....	46
Tableau 10 : Rendement en huile H (%) de l’extraction par pression.....	47
Tableau 11 : Rendement en huile H (%) de l’extraction par solvant.....	47
Tableau 12 : Comparaison des caractéristiques physico-chimiques de l’huile de l’espèce <i>M. drouhardii</i>	49

Tableau 13 ; Durées de traitement et doses optimales de graines de l'espèce <i>M. drouhardii</i> pour clarifier l'eau du Fiheranana.	50
Tableau 14 : Durée de traitement et la dose optimale pour l'eau d'Ikopa.....	50
Tableau 15 : Évolution des paramètres à la dose optimale de graines de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	51
Tableau 16 : Paramètres de l'eau traitée avec les graines de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	52
Tableau 17 : Teneurs moyennes en protéines (%) du tourteau calculées sur deux essais.....	54
Tableau 18 : Comparaison de différents tourteaux dont celui de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	55
Tableau : Résultat de la toxicité du tourteau de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	55

REMERCIEMENTS

Le présent travail n'aurait pas pu mener à terme sans la précieuse aide et la collaboration de diverses personnes et Institutions. Je tiens à exprimer mes vifs et sincères remerciements à :

- *Professeur DINA Alphonse, Président de l'Université de Toliara, qui a bien voulu m'accorder l'honneur de présider le jury de ce mémoire.*
- *Professeur REJO FIENENA Félicitée, Responsable de l'Unité de Formation et de Recherche en Biodiversité et Environnement, qui a accepté la direction de ce mémoire. Ses appuis critiques m'ont été très chers pour l'amélioration de ce travail..*
- *Docteur TOSTAIN Serge, fondateur de l'ONG FORMAD Environnement, de nous avoir sélectionné et confié ce stage parmi les étudiants de notre promotion ainsi que d'avoir financé une partie de mes recherches.*
- *Madame RAKOTOMALALA Soalifara Olga d'avoir bien voulu assurer la gestion financière de ce stage.*
- *Tous les enseignants du Département des Sciences Biologiques de l'Université de Toliara, pour leurs aides pédagogiques.*
- *Toutes les promotions, les amis, voisins, guides et aussi les populations locales pour leur soutien et leur aide amicale en tout genre.*

Enfin, mes parents, pour leur engagement solennel et leur persévérance tout au long de mes études

Merci à tous !!!

I. Introduction

Madagascar est un des pays tropicaux et insulaires de l'hémisphère Sud où la diversité biologique est particulièrement importante. Cette diversité spécifique y est représentée par différentes adaptations évolutives et écologiques des espèces (animales et végétales) aux particularités de l'environnement. Certaines espèces sont devenues rares et ne se rencontrent plus nulle part dans le monde (MITTERMEIER et al 1994 in RAONINJATOVOHERIVONJY, 1997).

Par ailleurs, la malnutrition demeure un des principaux problèmes de l'alimentation à Madagascar. La carence en lipides diminue considérablement l'apport énergétique de la population (RAJERY, 2003). Equilibrer l'apport journalier en lipides de la population nécessite donc la recherche de nouvelles matières premières sources de lipide. Vu cette situation, nous nous sommes intéressées sur l'une des plantes endémiques de la Région du Sud-Ouest de Madagascar : le *Moringa*, appartient à la famille des *Moringaceae* (OLSON, 2001). Son utilisation semble se limiter pour les ornements de village et des tombeaux ([http://www.wikipedia.org/wiki/Moringa drouhardii](http://www.wikipedia.org/wiki/Moringa_drouhardii)). Les fruits restent ainsi sous-exploités alors qu'ils donnent des graines capables de purifier les eaux, et qui sont aussi riches en huile.

Le besoin en eau potable en milieu rural se fait cruellement ressentir dans les ménages ruraux. Le problème est d'autant plus crucial dans les régions pauvres et désenclavées et particulièrement dans la région du Sud où la population consomme presque de l'eau boueuses (INSTAT, 2001).

Par ailleurs les maladies causées par la consommation de l'eau insalubre constituent la deuxième cause de mortalité à Madagascar (CNEA/UNICEF, 1997). Face à cette situation, le traitement des eaux demeure la solution indispensable mise à la disposition de l'homme pour qu'une eau de provenance douteuse devienne inoffensive pour sa santé. La clarification et la désinfection sont les méthodes connues utilisées couramment pour arriver à cette fin.

En effet, derrière cette biodiversité se cache des liens de parenté plus ou moins étroits entre toutes les espèces vivantes actuelles ou fossiles attestant d'une origine commune (<http://www.sequence-genetique.org>) comme pour les deux espèces de *Moringa* malgaches et l'espèce introduite de l'Inde.

Dans cette perspective, une étude sur les espèces de *Moringa* proposée *Moringa oleifera* Lamarck (1785), est une espèce indienne, cultivées et les espèces sauvages dont, le *Moringa drouhardii*, Jumelle (1930) et *Moringa hildebrandtii*, Engler (1902). L'étude se basait sur le recensement de ces espèces dans la région de Toliara afin de constituer une base de données sur leurs aires de répartition.

Outre la constitution de base de l'étude, il s'agit aussi d'essayer un croisement entre ces différentes espèces. D'où le sujet intitulé : « Étude des espèces de *Moringa* endémiques et cultivées dans la région de Toliara et leurs utilisations. Essais d'hybridation entre *Moringa oleifera* et *Moringa drouhardii* ». Cette étude présente quatre parties :

- Présentation de la zone d'étude,
- Méthodologie,
- Résultats et discussions,
- Conclusions et recommandations.

I.1 Problématique

Les écosystèmes du Sud – Ouest de Madagascar sont réputés par leur biodiversité unique et exceptionnelle, représentée surtout par des fourrés xérophiles, des forêts sèches et des forêts galeries (MIASA, 2005 in RAHARINIRINA, 2009). Pourtant, l'écosystème de *Moringa* semble être menacé, du fait que le nombre de l'espèce ne cesse de diminuer.

L'isolement de Madagascar du continent africain a permis d'avoir une richesse floristique et faunistique inestimable. PERRIER DE LA BATHIE (1936) évoquait l'existence de 7370 espèces végétales, WHITE et GUILLAUMET (1983) ont affirmé respectivement 8 000 et 12 000 espèces (1983).

A Madagascar, seul 21% des ménages ont accès à l'eau potable en 2001. (CNEA/UNICEF, 1997). Cette situation découle du manque de gestion de l'eau en tant que ressource rare, l'insuffisance d'infrastructure et la mauvaise qualité de l'eau. Face à cette situation, le traitement des eaux demeure la solution indispensable. Les sources d'alimentation sont mal exploitées à Madagascar même si l'économie malgache est basée sur l'agriculture. *M. drouhardii* et les ignames endémiques, genre *Dioscorea* . sont des exemples concrets de cette absence d'utilisation des ressources génétiques locales. Des liens étroits devraient exister entre la recherche scientifique et l'exploitation des résultats déterminants pour la diminution de la malnutrition de notre pays.

I. 2 Choix du thème

L'étude précédente semble se limiter par la répartition et la morphologie de l'espèce. En effet, plusieurs de ces organes restent ainsi inexploités alors qu'ils donnent des matières grasses pouvant être utilisées différemment. L'ambition a été renforcée par la consultation des différents ouvrages sur l'hybridation et l'extraction d'huile des différentes espèces végétales. D'où le choix

de ce thème d'étude sur « les espèces de *Moringa* endémiques et cultivées dans la région de Toliara et leurs utilisations. Essais d'hybridation entre *Moringa oleifera* et *Moringa drouhardii* ».

I. 3 Objectifs de l'étude

Dans l'optique de renforcement des recherches en agroforesterie, l'objectif global de notre étude est la mise en valeur du *Moringa*, en particulier les *Moringa* malgaches de la région de Toliara. Les objectifs spécifiques sont :

- Améliorer la connaissance de la diversité des espèces de *Moringa* ;
- Identifier la répartition des populations de *Moringa* dans la région de Toliara ;
- Essayer d'avoir des hybrides entre les espèces *M. oleifera* et *M. drouhardii* dans le but d'améliorer les caractéristiques de *M. drouhardii*. Cette espèce adaptée à l'écologie du Sud Ouest aurait des caractéristiques nutritionnelles moins intéressantes que *M. oleifera*. Le taux de réussite des hybridations doit permettre d'estimer la distance génétique entre le groupe indien des *Moringa* et le groupe malgache.
- Connaître la quantité d'huile des graines de *Moringa* ;
- Connaître la toxicité de l'huile obtenue à partir de *M. drouhardii* ;
- Identifier la qualité de l'eau obtenue après purification à l'aide de l'amande des graines de *Moringa*.

I. 4 Hypothèses

Six hypothèses sont proposées pour être vérifiées dans cette étude :

- 1) Les espèces de *Moringa* malgaches n'existent plus à l'état naturel ; elles sont toutes cultivées.
- 2) *M. drouhardii* et *M. hildebrandtii* présentent de multiples services pour les paysans.
- 3) L'hybridation entre *M. oleifera* et *M. drouhardii* est possible et aboutit à de nouvelles plantes.
- 4) La qualité de l'huile obtenue à partir des graines des espèces sauvages endémiques de *Moringa* ont des qualités exceptionnelles en terme de composition chimique.
- 5) L'eau purifiée à l'aide des amandes des graines de *Moringa* suit la norme de l'OMS.
- 6) L'huile de *M. drouhardii* est consommable pour les mammifères.

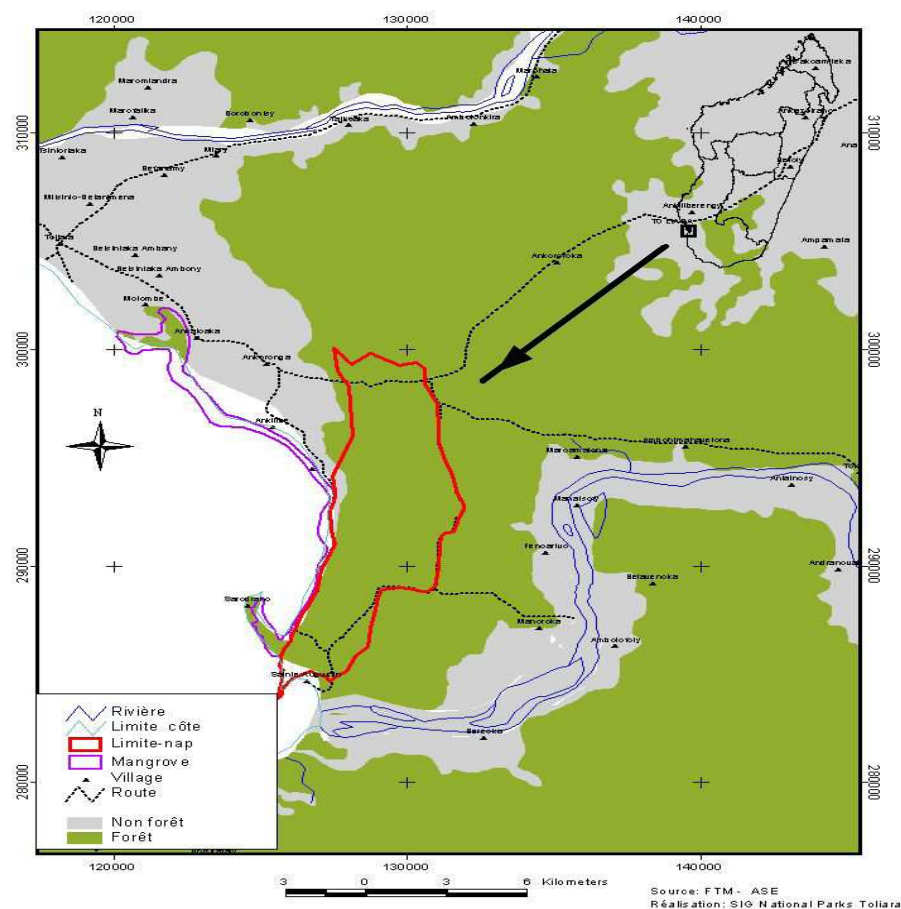
PREMIÈRE PARTIE :
LE MILIEU D'ÉTUDE
ET
GENERALITES SUR LES
ESPECES DE MORINGA

II. Le milieu naturel

Le milieu d'étude est composé de deux aires protégées différentes : l'aire protégée d'*Andatabo – Saint Augustin* et la Réserve d'*Amorin'Onilahy*.

II. 1 L'aire protégée d'*Andatabo – Saint Augustin* ou *Tsinjoriake*

L'aire protégée d'*Andatabo – Saint Augustin*, d'une superficie de 5 990 ha, se situe dans la plaine littorale de Toliara (figure 1) entre *Ankilibe* et *Sarodrano* (MAHATANTE, 2009). Elle s'étend vers le Sud et l'Est et couvre le rejet de la faille de Toliara (RAHARINIRINA, 2009). A partir du sommet de la faille de Toliara, d'environ 240 m, le relief s'incline vers le Sud avec une pente faible de 5% (BESAIRIE, 1972).



II. 2 Réserve d'*Amorin'Onilahy*

La réserve forestière d'*Amorin'Onilahy* est située dans le complexe de *Belomotse*, entre les districts de *Betioky* et de *Toliara II*, immense ensemble karstique qui borde le fleuve *Onilahy*.

Actuellement, cette forêt est gérée par le regroupement de 14 communes rurales (Saint-Augustin, Soalary Sud, Ambolofoty, Ambohimahavelona, Manorofify, Antanimena, Tameantsoa, Tongobory, Ankazomanga, Maroarivo, Vatolatraky, Besely, Andranovory, Andranoinaly) appelé « Organisme Public de Coopération Intercommunale » (OPCI) ou « *Onilahy Henany Mitambatse Handroso* » (OHEMIHA). Avec l'obtention du statut de protection du 18 octobre 2008, l'actuelle Aire Protégée de l'Amoron'Onilahy couvre officiellement 131 200 ha (BABAREZOTO, 2010). Antafoke appartient à la Commune Rurale d'Ambohimahavelona située sur la rive droite du fleuve Onilahy à 96km de distance de Toliara sur la RN10. La végétation de cette forêt appartient au secteur *Mahafaly* du domaine phytogéographique du Sud (HUMBERT, 1955).

II. 3 Climat

La zone d'étude se localise dans les régions les plus touchées par la sécheresse à Madagascar (Sud et Sud – Ouest de Madagascar) où l'indice d'efficacité de la saison humide (IHS) est inférieur ou égal à 4 (BATTISTINI, 1986) (figure2).

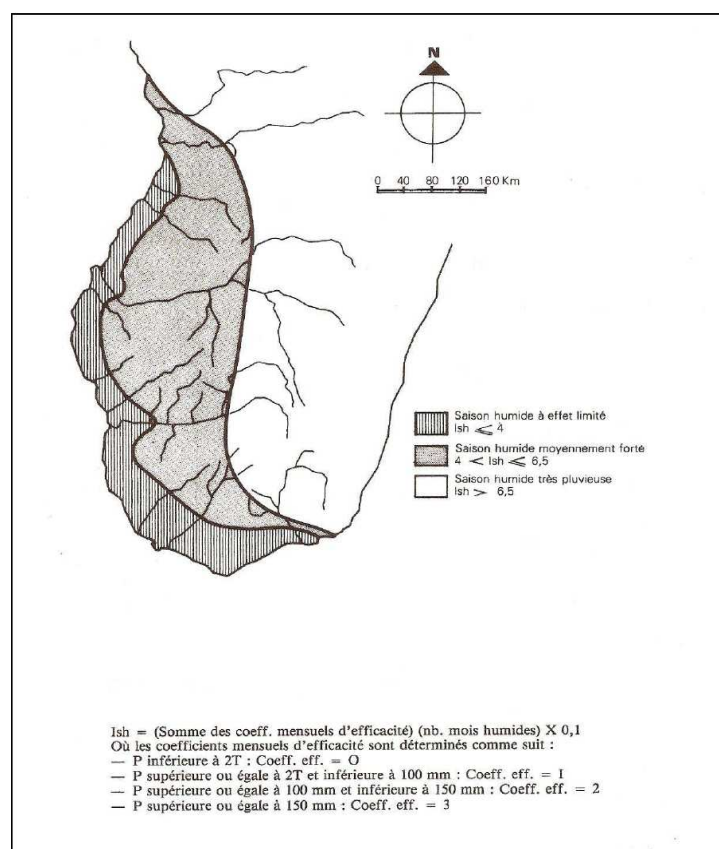


Figure 2 : Indice d'efficacité de la saison humide (ISH : Somme des coefficients mensuels d'efficacité) du Faritany de Toliara (carte extraite de BATTISTINI, 1986)

Le climat appartient au « domaine sub – aride et chaud de la Grande Ile » qui occupe une frange côtière étirée du Cap Saint – Vincent à Faux – Cap et limité par l’isohyète 400 mm (DUFOURNET, 1972 ; CORNET, 1974)). Les précipitations (d'environ 350 mm par an) se concentrent sur une courte période de l’année : de décembre à mars pour les dix dernières années (RAJAONARIVELO, 2000) (tableau 1). Les amplitudes thermiques sont élevées : de 10 à 15 °C (tableau 1). La température maximum moyenne annuelle est de 25°C (RAHARINIRINA, 2009).

Tableau 1 : Données climatologiques mensuelles de la station météorologique d’Andranomena – Toliara de 1996 à 2007 (RAHARINIRINA, 2009). Tmin : température minimum ; Tmax : température maximale ; Tmoy : température moyenne mensuelle ; P : quantité de pluie pour le mois

Année (96 à 07)	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
T min	23,73	23,72	22,99	20,78	17,92	15,55	14,99	15,59	17,29	19,21	21,69	23,21
Tmax	33,12	33,35	33,18	31,75	29,69	28,33	27,85	28,68	29,14	30,5	31,74	32,38
T moy	28,42	28,54	28,09	26,27	23,81	21,94	21,42	22,13	23,21	24,85	26,72	27,80
P	152,08	85,57	42,59	11,34	16,2	8,74	9,36	7,32	11,34	10,35	16,35	54,25

L’humidité atmosphérique est élevée, de l’ordre de 75%, ce qui explique l’abondance des lichens du genre *Rocella* dans la région. (KOECHLIN, 1975).

II. 4 Pédologie

L’Aire Protégée d’*Andatabo* – Saint Augustin et la réserve d’*Amoron’i Onilahy* se trouvent dans une zone calcaire. Les échantillons de sols collectés durant la mission d’inventaire dégagent trois types de sols :

- Sols sableux sur le littoral. Il s’agit de sables alluviaux, calcaires gréseux quaternaires et sables (BESAIRIE, 1972) ;
- Sols alluvionnaires aux alentours d’Andoharano et,
- Sols rocaillieux à sables roux sur les flancs et sommets des reliefs. Parfois, des sols calcaires cristallins et coquilliers sont constatés en alternance avec des marnes (BESAIRIE, 1972).

II. 5 La végétation

La végétation est constituée de fourrés épineux dû à l’aridité de la zone. Plusieurs formes d’adaptation biologique à la sécheresse sont observées : la crassulescence (ex : *Kalanchoe*

grandidieri, K. sp.), la microphyllie (ex : *Bauhinia grandidieri*), la caducifolie (ex : *Gyrocarpus americanus*, *Grewia microcarpa*), la pachycaulie (ex : *Adansonia rubrostipa*, *Cyphostema laza parvifolia*), l'aphyllie (ex : *Euphorbia tirucalli*) et la spinescence (ex : *Mimosa volubilis*).

Elle est dominée par les familles des Euphorbiaceae et des Burseraceae (prédominance des Commiphora et des Euphorbia dans l'ensemble de l'Aire Protégée d'Andatabo – Saint Augustin). La végétation est généralement dégradée et marquée par la présence d'espèces indicatrices de perturbation, qui sont résistantes aux incendies comme les espèces de *Mimosa* sp. (Roy), *Poupartia caffra* (« Sakoadiro » en malgache) et *Lovainafia mahafaliense* (« Lovainafy »). On note la présence de quelques habitats spécifiques comme, par exemple, la formation naine de Barn Hill où toute la végétation ne dépasse pas 1 m de hauteur mais aussi les formations suivantes :

- Les formations spécifiées à *Alluaudia comosa* ;
- Les formations spécifiées à *Delonix adansonoides* ;
- Les formations spécifiées à *Adansonia rubrostipa* et *Pachypodium geayi* ;
- Les formations spécifiées à *Erytrophysa aesculina*.
- La formation dominée à *Moringa drouhardii* sur le flanc de Bina.

III. Les différentes espèces de *Moringa*

La famille de *Moringa* est dite monogénérique car elle ne possède qu'un seul genre : *Moringa* qui comprend 13 espèces (figure 3) :

- *M. arborea*, *M. borziana*, *M. longituba*, *M. pigmaea*, *M. rivaie*, *M. ruspoliana*, et *M. stenopetala* que l'on rencontre sur la Corne de l'Afrique de l'Est,
- *M. ovalifolia* au Namibie,
- *M. peregrina* dans le Sud Arabie,
- *M. oleifera*, l'espèce cultivée la plus connue et la plus répandue, et *M. concanensis* trouvée en Inde,
- *M. drouhardii* et *M. hildebrandtii* à Madagascar.

Trois espèces sont à Madagascar dont deux sont endémiques : *M. drouhardii* et *M. hildebrandtii*. *M. oleifera* est la troisième. Les relations génétiques entre ces espèces montrent une proximité entre les espèces de l'hémisphère Sud, malgaches et namibienne (OLSON, 2002) (figure 4).

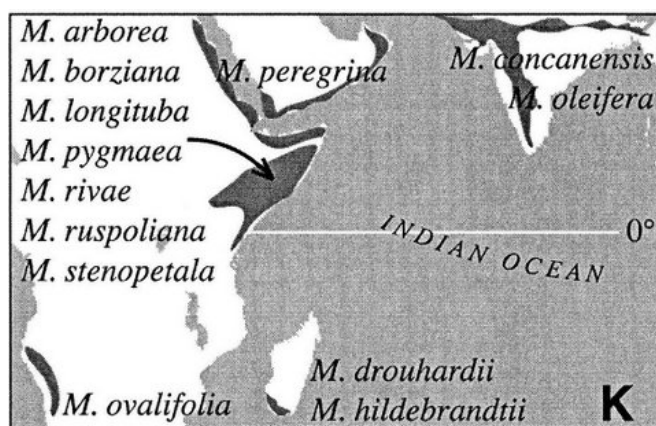


Figure 3 : Répartition géographique des différentes espèces de *Moringa* (carte extraite d'OLSON, 2002)

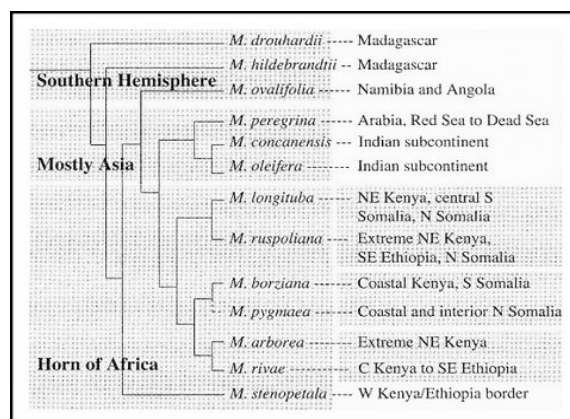


Figure 4 : Relations génétiques entre les 13 espèces de *Moringa* (arbre phylogénétique extrait d'OLSON, 2002)

III. 1 *Moringa drouhardii*

M. drouhardii est une plante endémique de la région du Sud Ouest de Madagascar, où il est présent à l'état sauvage et planté. L'espèce a été découverte par le botaniste Français Henri Lucien Jumelle en 1930, et depuis, un essai de classification botanique a été fait pour aboutir à une publication scientifique en 1963 par l'équipe scientifique d'HUMBERT (DELAVEREAU et BOITEAU, 1980).

III. 1. 1 Origine

Son aire de répartition est le Sud Ouest de Madagascar (figure 5), plus précisément dans les régions suivantes : Tuléar vers *Ianantsony* ou Saint Augustin à l'embouchure d'*Onilahy*, du delta du *Fiherenana*, entre *Ampanihy* et *Ambovombe* et la rive du bassin de *Mandrare* (KERAUDREN et AYMOUNIN, 1968). L'espèce *M. drouhardii* est commune et est couramment plantée. L'espèce n'est pas en danger ni vulnérable. (OLSON et CARLQUIST, 2001).

III. 1. 2 Caractéristiques

Le nom du genre *Moringa* vient du nom vernaculaire Tamoul (Inde) « Murungai » et le nom de l'espèce *drouhardii* du nom d'un scientifique Français Eugène-Jean DROUHARD, collecteur du type (<http://www.cactuspro.com/encyclo/Moringa/drouhardii>). Cette plante possède, en malgache, plusieurs appellations vernaculaires : « Maroserana », « Hazomalana », « Hazomalandy », « Malamasafoy » (<http://www.cactuspro.com/encyclo/Moringa/drouhardii>).

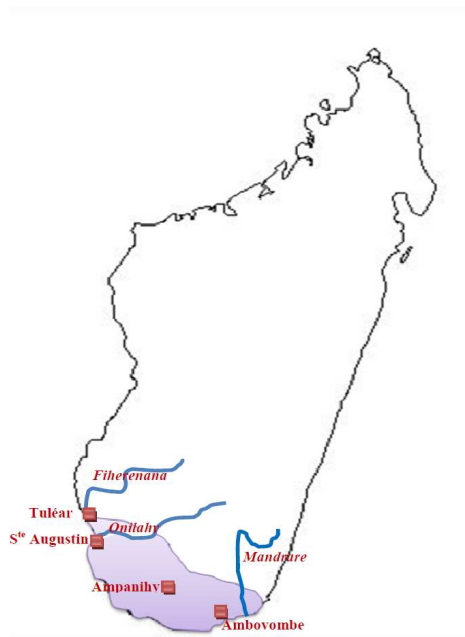


Figure 5 : Aire de répartition de *M. drouhardii* (OLSON M.E. 2002)



Figure 6 : Répartition de *M. hildebrandtii* (OLSON et RAZAFIMANDIMBISON 2000)

Le *Moringa drouhardii* appartient à la classification botanique suivante : Embranchement : spermatophytes ; Sous- embranchement : angiospermes ; Classe : dicotylédones ; Ordre : capparidacées ; Famille : *Moringaceae* ; Genre : *Moringa* ; Espèce : *drouhardii*.

III. 1. 3 Morphologie de la plante

M. drouhardii est un type d'arbre en forme de bouteille (Figure 7) dont le tronc rappelle celui du baobab. Il peut atteindre à l'âge adulte jusqu'à 15 m de hauteur (RAUH, 1998) ou 18 m (EGGLI, 2002) avec un tronc jusqu'à plus de 2 m de diamètre (RAUH, 1998) de couleur blanchâtre qui lui valu le surnom de "sac de farine".



Figure 7 : *Moringa drouhardii* (FORMAD environnement, 2011)

Les feuilles sont tri imparipennées de 25 cm de longueur, à pétiole de 10 à 15 cm de longueur.

Les pétioles des pennes sont de 2 à 3 cm de longueur. Ils sont tous glabres et avec des glandes stipitées à la base. Les folioles sont opposées en 5 à 9 paires, ovales et allongées de 1,5 à 3 cm de longueur sur 0,5 à 1,2 cm de largeur, acuminées, à nervure centrale proéminente et de couleur vert vif (<http://www.cactuspro.com/encyclo/Moringa/drouhardii>). La feuillaison se déroule durant les mois d'octobre-décembre.

L'inflorescence est en panicule axillaire de jusqu'à 30 cm de longueur, portant de nombreuses fleurs odorantes actinomorphes bisexuées, de couleurs jaune blanchâtre en forme de coupe à pédicelle de 1 à 2 mm de longueur, les sépales sont glabres de 5 à 6 mm de longueur sur 1,8 mm de largeur, et les pétales sont ovales de 7 à 10 mm de longueur sur 1,8 mm de largeur, glabres à l'extérieur, légèrement pubescents à l'intérieur et filaments de 6 à 8 mm de longueur fortement pubescents (KERAUDREN-AYMONIN, 1968) (Figure 7.).

Les gousses sont à maturité de couleur brun kaki de 30 à 50 cm de longueur sur environ 4 cm de diamètre, à section circulaire légèrement triangulaire, présentant des constriction entre chaque graine. Une plante adulte produit annuellement environ 90 gousses avec en moyenne 6 à 12 graines. Ces valeurs varient suivant le lieu de plantation.

Les graines sont de couleur blanchâtres, plus ou moins ovoïdes de 2 à 2,5 cm de longueur sur 1,8 à 2 cm de largeur, à trois côtes marquées mais sans ailes. (KERAUDREN-AYMONIN, 1968). L'arbre commence à produire des fruits vers l'âge de trois ans, quand il atteint une taille de 3 à 4 mètres. La fructification a lieu pendant les mois de février-mai et les graines matures sont collectées de juillet à la fin septembre (<http://www.cactuspro.com/encyclo/Moringa/drouhardii>).

M. drouhardii préfère les conditions climatiques et édaphiques spécifiques du Sud de Madagascar, notamment des sols calcaires, avec parfois des précipitations annuelles inférieures à 200 mm. Sa facilité de régénération sur les sols alluvionnaires est remarquable. (<http://www.moringanews.org>).

La culture de *M. drouhardii* est facile, sans grandes particularités par rapport aux conditions générales de culture de la famille de *Moringaceae*. La multiplication se fait par semis ou par bouture pendant la période de dormance. La température de germination est comprise entre 20 et 30°C.

Dans la majorité des cas, les paysans préfèrent arracher les semi spontanés issus des graines qui ont germé sous les arbres mères durant la saison de pluies. L'aspect le plus exploité dans son lieu d'origine est l'utilisation comme plante ornementale (figure 8). L'espèce est sacrée comme le tamarinier, « *kily* » (*Tamarindus indica*). Il est souvent planté autour des tombes de personnages

importants pour honorer leur grandeur (figure 9)
(<http://www.mobot.org/gradstudents/olson/moringahome.html>).



Figure 8 : *M. drouhardii* plantés dans la cour de CEDRATOM issus d'une ancienne pépinière (ANDRIANANTENAINA, 2013)



Figure 9 : *M. drouhardii* plantés aux coins d'une tombe mahafale (FORMAD environnement, 2011)

III. 1. 4 Intérêt

Les jeunes feuilles peuvent être consommées. Elles constituent une véritable ressource alimentaire ; son intérêt nutritif réside dans l'apport important des organes en protéines, en vitamines A, B, C et en calcium. Les graines ayant un caractère oléagineux, donnent 36 - 45% d'huile, et cette huile est consommable en tant qu'huile de friture et huile de table. (<http://www.moringanews.org>). Les feuilles matures et non consommées par les humains ne sont pas perdues, elles peuvent être fournies au bétail comme fourrage. (RAJERY, 2003).

Les différentes parties de l'arbre sont utilisées en médecine traditionnelle. Les feuilles, fleurs, racines et écorce peuvent soigner des dizaines de pathologies d'après les tradipraticiens. Les racines comestibles au goût de raifort (gout très piquant semblable à la moutarde.) ont un pouvoir rubéfiant important et doivent donc être utilisées avec précautions.

L'écorce très parfumé s'emploie dans le traitement des maladies comme les rhumes et la toux. Elle est aussi utilisée aussi pour lutter contre l'épilepsie, l'hystérie et la paralysie en pharmacopée.

Les feuilles sont efficaces contre l'anémie, le diabète, l'hypertension artérielle, la conjonctivite. L'huile apaise et adoucit la peau des bébés. Elle hydrate et revitalise les peaux chroniquement très sèches, parfois en emploi à des démangeaisons ou à une desquamation. Elle est utilisée pour lutter contre les rides et le vieillissement. Et traité les maladies comme le rhumatisme. (DELAVEAU et BOITEAU, 1980).

III. 2 *Moringa hildebrandtii* Engler

Le nom d'espèce, *hildebrandtii* a été donné en l'honneur du botaniste allemand Johann Maria Hildebrandt (1847-1881), collecteur du type. *Moringa hildebrandtii* est une plante endémique de Madagascar qui se trouve spontanément dans le Sud-ouest de Madagascar entre Morondava et le fleuve d'Onilahy (figure 6). Il a été souvent planté comme arbre d'ornement dans la région de Boina autour des sépultures royales de Mahabo (<http://www.mobot.org/gradstudents/olson/moringahome.html>).

Le nom vernaculaire de cet arbre est le « *Marosarana* » ou « *Hazomaroeranana* » qui implique une relation avec cette région qui était sous le contrôle des *Maroseranana* (Roi dans l'ethnie *Mahafaly*) durant presque 400 ans. Comme *M. drouhardii*, l'espèce ressemble aussi au baobab. Elle peut atteindre 25 mètres de hauteur (figure 10). Des populations naturelles sont connues depuis longtemps dans les vallées de la *Fiherenana* et de l'*Onilahy* (RAUH, 1998), même si les auteurs ont cru que cette espèce ne subsistait plus qu'en culture (OLSON et RAZAFIMANDIMBISON, 2000) et si d'autres ont cru l'avoir redécouvert au Nord de Morondava (CASTILLON et CASTILLON, 2007). Diverses données permettent de penser que l'arbre vivait à l'origine dans l'extrême sud-est de l'île :

- 1) Le nom vernaculaire de cet arbre (« *hazomaroeranana* ») implique une relation avec cette région qui était sous le contrôle des *Maroseranana* ;
- 2) Toutes les autres espèces de *Moringa* se trouvent dans de semblables types d'habitats semi-arides qui ne se rencontrent pas ailleurs à Madagascar. (OLSON et RAZAFIMANDIMBISON, 2000).

III. 2. 1 Description

M. hildebrandtii est un arbre de jusqu'à 25 m de haut à tronc pachycaule et branches plus ou moins tordues (largeur : 10 m). Écorce lisse et blanchâtre à brune. Feuilles bi à tri imparipennées de jusqu'à 60 cm de long, à pétiole de 5-10 cm de long, pétioles secondaires de 4-5 cm de long, pétiolules de 5-7 mm de long, tous glabres et avec glandes stipitées à la base. Folioles opposées en nombreuses paires, gris vert, obovales et acuminées de 4,5-7 cm de long sur 2-3,5 cm de large, à nervure centrale proéminente.

Inflorescence en panicules axillaires de jusqu'à 25cm de long, portant de nombreuses fleurs odorantes, bisexuées, actinomorphes, couleur crème à jaune blanchâtre en forme de coupe à pédicelle de 3-3,5mm de long, sépales oblongs de 5-6mm de long sur 3mm de large, pétales

oblongs allongés de 8-9mm de long sur 1-2mm de large, à marge ciliée, fortement pubescents à l'intérieur et filaments de 7-8mm de long fortement pubescents.

Les fruits matures sont de couleur brun kaki de 45-65cm de long sur 2-3cm de diamètre, à section circulaire légèrement triangulaire, glabre et présentant des constrictions entre chaque graine. Les graines sont brun pâle, plus ou moins ovoïdes de 3,5-4 cm de long sur 2,2-2,5cm de large, à trois côtes marquées et ailées.

Reproduction par semis, voire par bouturage de tiges. Exposition : Vive (luminosité maxi, plein soleil accepté); Température mini 12° ; Arrosages Hiver : Faible. Été : Moyen. Substrat : Standard (3 tiers) ; (http://www.wikipedia.org/wiki/Moringa_hildebrandtii).



Figure 10 : *M. hildebrandtii* (FORMAD environnement, 2011)

III. 3 *Moringa oleifera*

M. oleifera est la plante la plus populaire et la plus connue parmi les espèces du genre *Moringa*. Elle est connue sous le nom Malgache d'« Ananambo » ou « Anamorongo ». Contrairement aux deux premières espèces endémiques, *M. oleifera* est un arbuste avec une hauteur maximale de 15 m originaire de l'Inde et cultivé partout dans le monde. On rencontre cette plante dans diverses régions de l'île de Madagascar : Tamatave, Majunga, Tuléar. Chaque partie du *M. oleifera* a des propriétés bénéfiques qui peuvent être utiles à l'homme. (<http://www.mobot.org/gradstudents/olson/moringahome.html>).

M. oleifera croît bien à faibles altitudes. En Afrique de l'Est, on le trouve jusqu'à 1350 m d'altitude, mais au Zimbabwe, un peuplement naturalisé à 2000 m témoigne de son adaptabilité. Tolérant à la sécheresse, on le trouve à des endroits où la pluviométrie annuelle ne dépasse pas 500 mm. On peut le cultiver dans toutes sortes de sols mais ce sont surtout des terrains fertiles et

bien drainés qui lui conviennent. De légères gelées sont tolérées. (OLSON et CARLQUIST, 2001).

Ses feuilles sont d'une valeur nutritive extrêmement importante. Elles peuvent constituer un aliment complet puisqu'elles contiennent deux fois plus de protéine et de calcium que le lait, autant de potassium que la banane, autant de vitamine A que la carotte, autant de fer que la viande de bœuf ou les lentilles et deux fois plus de vitamine C qu'une orange (figure 11).

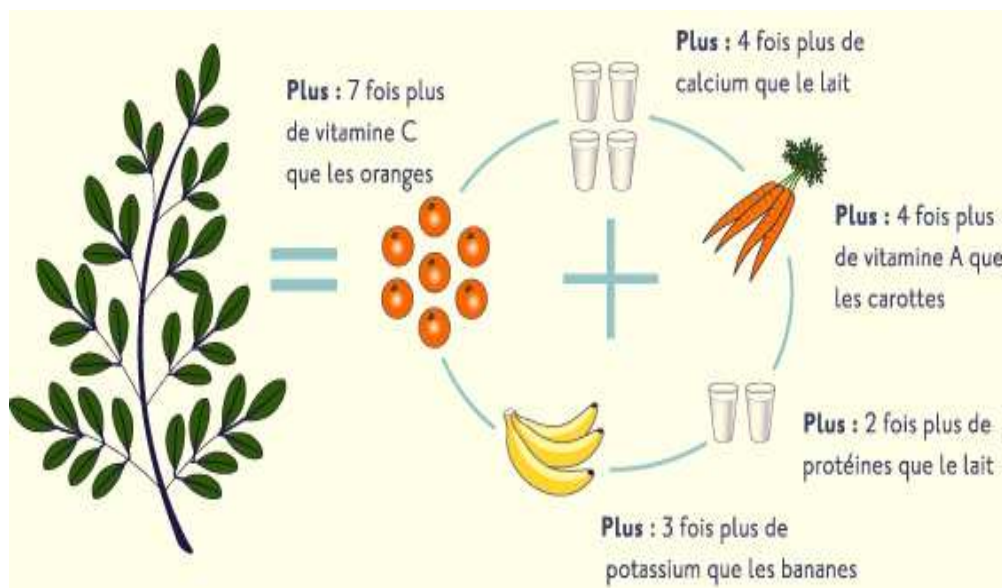


Figure 11 : Valeur nutritive de feuille de *M. oleifera* (<http://www.moringanews.org>, 2013)

Actuellement, l'ONN (Office National de la Nutrition) prône sa consommation pour lutter contre la malnutrition des mères et des jeunes enfants ou contre la cécité due à des carences en vitamines A (<http://www.moringanews.org>). En Afrique de l'Ouest, des projets d'aide médicale combattent la malnutrition avec un certain succès par la mise en place de mesures comme l'usage de poudre de feuilles de *M. oleifera* dans l'alimentation des enfants et des femmes enceintes et allaitantes.

Depuis longtemps, on utilise les graines entières ou pilées sont utilisées pour purifier l'eau au Soudan, et c'est une pratique encouragée dans d'autres régions d'Afrique. Le tourteau de graines, résidu de l'extraction d'huile, peut également être utilisé pour purifier l'eau. (JAHN, 1986).

Presque toutes les parties de la plante ont des applications en médecine traditionnelle. Les usages notamment comme calmant, vermifuge, antispasmodique et désinfectant (bactéricide, fongicide) sont répandus. L'écorce exsude une gomme blanche à rougeâtre (la gomme de ben ou gomme de

Moringa), qui a les propriétés de l'huile de tragacanthé (*Astragalus*), employée en tannerie ou en impression de calicots et qu'on ajoute parfois aux sauces pour les épaissir. (BURKILL, 1997).

Les graines de *M. oleifera* contiennent un glucosinolate qui, après hydrolyse, produit du 4-(α -L-rhamnosyloxy)-benzylisothiocyanate, qui est un bactéricide et fongicide actif. Les glucosinolates ont un intérêt pour la santé humaine parce que les métabolites résultants de leur hydrolyse ont des effets aussi bien positifs (par ex. anticancéreux) que négatifs. Les graines contiennent une protéine (polyélectrolyte cationique) qui sert de floculant dans l'épuration de l'eau. Elles contiennent également un floculant non protéinique, qui est plus efficace dans l'épuration de l'eau à faible turbidité. (BENNETT et al. 2003).

Les feuilles, les fruits, les graines, les racines, l'écorce mais aussi les fleurs de *M. oleifera* possèdent chacun des vertus médicinales particulières comme laxatif, purgatif et diurétique. Le *Moringa* peut être également utilisé dans certains cas de diabète pour stabiliser le taux de sucre et peut stabiliser la tension artérielle.

Parmi les utilisations de cet arbre, on peut aussi citer, fourrage du bétail (vaches, moutons, chèvres, porc, lapins) et aliment pour les poissons (ex : les carpes), production de biogaz (<http://www.treesforlife.org/project/moringa>).

III. 3. 1 Description

Arbuste ou petit arbre caduque à semi-sempervirent atteignant 10 m de haut ; tronc atteignant 45 cm de diamètre ; écorce blanchâtre, grise ou chamois pâle, lisse ou rarement rugueuse, liégeuse ; jeunes pousses violacées ou blanc-verdâtre, pubérulentes. Feuilles alternes, de 6,5–60 cm de long, 2–3-pennées, munies de 4–6 paires de pennes ; stipules absentes, mais pétiole à glandes stipitées à la base ; folioles elliptiques à obovales, de 0,5–2(–3) cm $\times$ 0,3–1,3(–2) cm, arrondies à cunéiformes à la base, apex arrondi à émarginé. Inflorescence : panicule étalée de 8–30 cm de long, portant un grand nombre de fleurs. Fleurs bisexuées, zygomorphes, 5 -mères ; sépales libres, de 7–14 mm de long, souvent inégaux ; pétales libres, oblongs-spatulés, de 1–2 cm de long, inégaux, le plus grand dressé, à pubescence veloutée, blancs ou crème ; étamines 5, filets de 7–8 mm de long, anthères d'un jaune cireux ou orange, alternant avec 3–5 staminodes ; ovaire supère, pédonculé, cylindrique, de 3–5 mm de long, rose à la base, densément poilu, 1-loculaire, style mince, glabre, sans lobes stigmatiques. Fruit : capsule allongée à 3 valves, de 10–50 cm de long, à 9 côtes, brune à maturité, et contenant de nombreuses graines. Graines globuleuses, de 1–1,5 cm de diamètre, pourvues de 3 ailes minces de 0,5–2,5 cm de long (Source : <http://www.cactuspro.com/encyclo/Moringa>).

III. 3. 2 Multiplication et plantation

En Afrique, *M. oleifera* est surtout multiplié par graines ; par contre en Inde, on pratique davantage le bouturage car les arbres issus de graines produisent de moins bons fruits. Les graines sont soit semées directement au champ au début de la saison des pluies soit en pépinière arrosée pendant la saison sèche. On les sème à une profondeur de 2 cm. La germination prend 7–14 jours et les semis gagnent à être ombragés (environ 50% d'ombre). Au départ, les jeunes plantes sont arrosées deux fois par jour, mais lorsque les semis font 10–15 cm de haut, l'arrosage est réduit en une fois par jour. Les plantes atteignent la taille de 15–25 cm en 2 mois ; après 3 mois, ils mesurent 40 cm de haut et ils sont prêts à être replantés. La plantation doit coïncider avec le début des pluies. On met du fumier dans chaque trou (USDA, 2003).

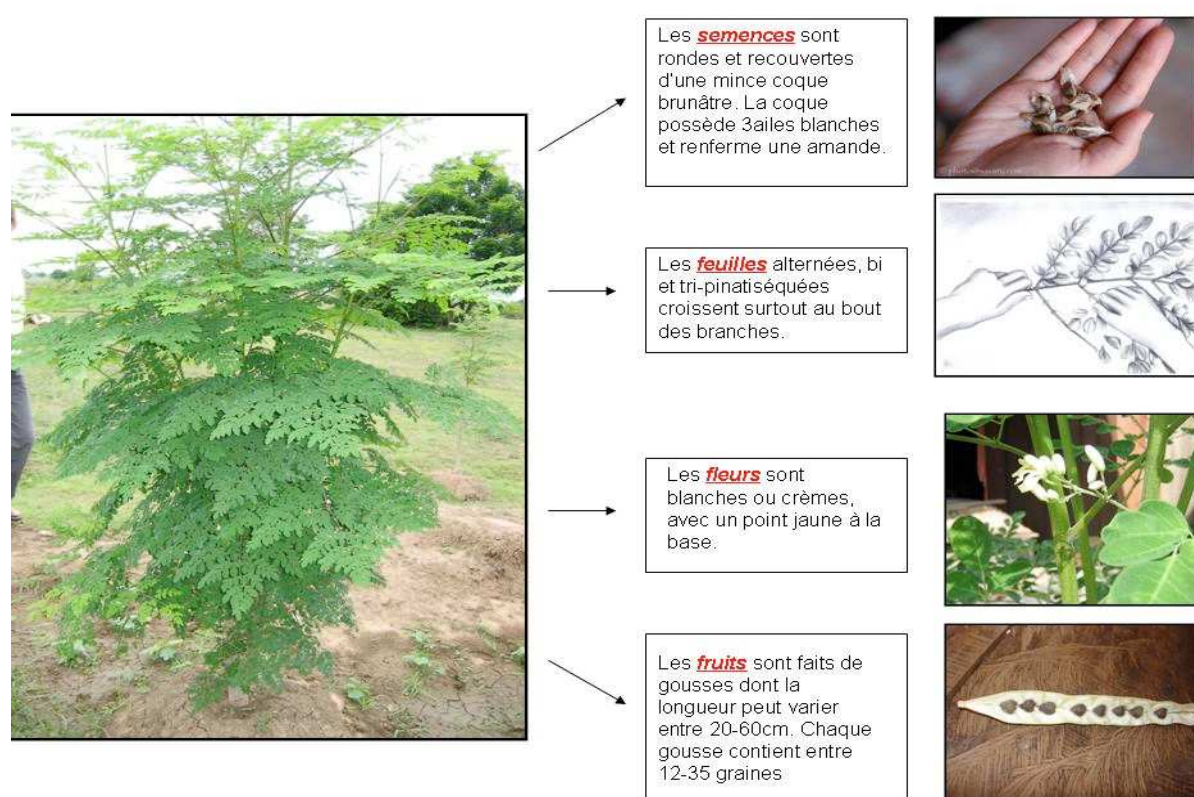


Figure 12 : *M. oleifera* (http://www.wikipedia.org/wiki/Moringa_oleifera, 2013)

Le taux de germination des graines fraîches avoisine les 80%, mais tombe à environ 50% après 12 mois de stockage, aucune graine ne restant viable après 2 ans de stockage. Au début, l'arbre croît à une allure remarquable ; 3–4 m de croissance par an n'est pas inhabituel. Les jeunes arbres issus de graines commencent à fleurir au bout de 2 ans. Sur les arbres issus de boutures, on peut espérer récolter les premiers fruits 6–12 mois après la plantation. La floraison précède

souvent la formation de nouvelles feuilles, ou coïncide avec elle. Au Nigeria, la floraison a lieu toute l'année.

III. 3. 3 Ressources génétiques et sélection

La plus grande variabilité génétique chez *M. oleifera* se trouve au nord-ouest de l'Inde, mais l'espèce est probablement éteinte à l'état naturel. Comme il s'agit d'un arbre allogame, il présente généralement une forte hétérogénéité de forme et de rendement. Les recherches sur la variabilité génétique des peuplements du Kenya, du Malawi et de l'Inde ont mené à la conclusion que du matériel génétique d'au moins deux sources avait été introduit au Kenya. Les niveaux importants de différenciation entre les peuplements semblent indiquer que la source des provenances a une importance pour la conservation et l'exploitation des ressources génétiques. L'espèce est répandue dans les régions tropicales et subtropicales et il en existe de nombreuses entrées en banques de gènes, par ex. au Centre national de semences forestières (CNSF) d'Ouagadougou (Burkina Faso).

Aucun travail d'amélioration génétique n'a été entrepris en Afrique. En Inde, les types "Jaffna" sont prisés pour leurs fruits allongés (de 60 cm à plus de 1 m de long). En Inde, un type de *M. oleifera* à tronc court, mis sur le marché sous le nom de PKM1, a également été créé pour la production de fruits verts. De nombreux agriculteurs cultivent ce type comme plante annuelle (deux récoltes par an). Pour l'Afrique, le critère de sélection le plus important serait un fort rendement en feuilles ; or jusqu'à aujourd'hui, la sélection et l'amélioration ont porté surtout sur l'optimisation de la production de fruits. Des hybridations entre espèces de *Moringa* devraient être tentées pour améliorer certaines caractéristiques. *M. stenopetala* contient des agents de floculation identiques à ceux de *M. oleifera* et produit des graines plus grosses. Par conséquent, on doit pouvoir augmenter les rendements par hybridation avec cette espèce. Il doit également être possible d'augmenter le rendement en huile de *M. oleifera* en créant des hybrides avec *M. peregrina* (Forssk.) Fiori, qui possède une plus forte teneur en huile (environ 50%).

A ce jour, aucun résultat sur des essais d'hybridation n'a été publié (OLSON, 2002).

DEUXIÈME PARTIE

MÉTHODOLOGIE

IV. Méthodes

IV. 1 Recherches bibliographiques

La lecture en bibliothèque et la connexion sur Internet ont été la base des nos études bibliographiques dans le but de renforcer les données collectées sur le terrain. La bibliographie a été effectuée auprès des lieux suivants : la bibliothèque TSIEBO CALVIN de l'Université de Toliara, le centre de documentation du CEDRATOM (Formation biodiversité et environnement), le bureau de *Madagascar National Parks* et auprès de l'ONG Formad environnement (France).

L'objectif est aussi de mieux formuler la proposition de recherche.

IV. 2 Enquêtes

IV.2. 1 Enquêtes socio-économiques

La recherche des relations entre l'exploitation économique, l'environnement local et les *Moringa* est très importante. Le but de l'enquête est d'obtenir des données sur les activités productives et génératrices de revenus de la population. L'approche communautaire a été faite avec l'assistance d'un guide local.

IV. 2. 2 Enquêtes ethnobotaniques

Trois sites ont été enquêtés : Saint Augustin ((*fokontany Ambanilia*, ville de Saint Augustin), *fokontany Antafoke* et dans la commune de Toliara II (Commune rurale de *Miary* et *fokontany Ankilibe*). Comme les villages sont vastes, l'enquête a été menée sur un échantillonnage de quelques foyers. L'approche communautaire a été réalisée avec un guide local.

L'étude ethnobotanique a été réalisée à l'aide d'une fiche d'enquêtes sur les modalités d'accès de la population à leur environnement naturel et la déforestation. L'objectif a été de connaître comment la population dans cette région exploite les *Moringa* notamment dans la pharmacopée.

Différentes personnes ont été interrogées : les matrones, des hommes de différentes professions et aussi le président des *fokontany* (tableau 2). Toutes personnes enquêtées ont le droit d'exprimer concernant le tabou sur cette plante. Les questions ont été posées directement aux gens du village.

IV. 2. 3 L'inventaire des populations sauvages de *M. drouhardii*

Seule l'espèce *M. drouhardii* a été étudiée à l'état naturel, n'ayant pas recensé *M hildebrandtii* à l'état naturel dans la zone d'étude. Pour y parvenir, nous avons adopté la méthode parcelle-transect non permanente (GENTRY, 1993). L'échantillonnage par transect se fait de façon

directionnelle le long d'un axe écologique qui, par hypothèse, traverse différents milieux selon un ou plusieurs gradients de changement. La méthode de GENTRY est un ensemble de 15 transects de 0.15ha de 50 m de long sur 2 m de large chacun soit 100 m² au sein desquels toutes les plantes ayant un diamètre supérieur ou égal à 2.54 cm à la hauteur de la poitrine de 1.37 m sont répertoriées. Tous les types biologiques sont aussi considérés : lianes, arbustes, arbres.

Cette méthode a été utilisée dans les régions du Sud et du Sud-ouest de Madagascar dont la forêt des Mikea sur quatre sites avec 221 transects de 50 m x 2 m (RAKOTOMALAZA et MCKNIGHT, 2004), ainsi que six autres sites comprenant 118 transects (RODINE, 2005). Il en a été de même dans le Parc National de Tsimanampesotse (MAHAZOTAHY, 2006) et le Parc National d'Andohahela (RAKOTOMALAZA et MESSMER, 1999).

Tableau 2 : Types de renseignements obtenus par les personnes ressources.

Notables	Guérisseurs	Matrones
L'histoire des villages, la présence de <i>Moringa</i> et les renseignements sur l'ethnie ont été révélés grâce aux notables	Les guérisseurs sont appelés des « médecins traditionnels » ou tradipraticiens. Ils possèdent le savoir sur l'utilisation des plantes médicinales, héritage de leurs ancêtres. Grâce aux indications des guérisseurs, nous avons pu connaître les essences d'espèces médicinales forestières	Sage-femme traditionnelles dans les villages. Face à cette tâche, elles utilisent des plantes comme outil. Les matrones ont pu nous indiquer les différentes utilisations du <i>Moringa</i> par les femmes

L'itinéraire a été établi à partir de la base bibliographique. Nous avons effectué la reconnaissance avec un guide local et avons choisi la direction Nord – Sud. Les plots sont espacés de 20 m dans les deux sites :

- Sur le flanc de Bina. C'est une partie de la forêt de la Nouvelle Aire Protégée de Tsinjoriake, tout près de village d'Ambanilia dans la Commune de Saint Augustin. C'est dans ce lieu qu'on rencontre *M. drouhardhii* à l'état naturel. Les espèces sont situées sur un sol calcaire.
- Dans la forêt d'Antafoke. Antafoke est un *fokontany* situé dans la Réserve d'Amoron'Onilahy.

La technique de relevé consiste à tracer une ligne bien droite avec un fil plastique de 50 m de longueur. De part et d'autre de la corde, on a mesuré 1 mètre pour obtenir à la fin des travaux une parcelle-transect de 100 m² (50 m x 2 m). Cette « parcelle-transect » représente un « transect ». Dans chacun d'eux, les *Moringa* présents ont été recensés avec tous les paramètres floristiques pour enrichir les données de base (dhp, hauteur de fût, hauteur totale, recouvrement, signe de pression, régénération, floraison, foliation et fructification). A propos de la gousse mûre et non mûre, la mesure s'effectue à l'aide d'un mètre ruban et on les pèse à l'aide d'une balance Roberval.

L'étude des deux espèces de *Moringa* malgaches dans la ville de Toliara a été faite directement par un prélèvement de dhp, floraison, foliation et fructification des pieds identifiés.

IV. 3 Essais d'hybridation

Seuls les croisements entre *M. oleifera* et *M. drouhardii* ont été possibles. En effet, leur période de floraison est identique. La période de floraison de *M. hildebrandtii* est différente. L'observation des fleurs s'est effectuée dans la salle de Travaux Pratique du CEDRATOM avec une loupe binoculaire et une simple loupe. La binoculaire a servi à observer la forme des grains de pollen détachés des étamines, ainsi qu'à l'observation des placentations des ovules dans les ovaires. La loupe permet d'observer et de préciser les formes et la disposition des pièces florales. Il n'y a pas de différence entre les fleurs des deux espèces.

Les grains de pollen, sont collés c'est-à-dire nectarifères, c'est pour cela qu'ils ont besoin des insectes pollinisateurs pour les transporter jusqu'au pistil. Les systèmes de reproduction, autogame ou allogame doivent être confirmés.

IV.3. 1 Matériels utilisés

L'inflorescence des deux *Moringa* est de type grappe. Les boutons floraux sont choisis et couverts, à l'abri des agents pollinisateurs. Le but est de déterminer si les fleurs isolées dans le papier sachet sont fécondées par de l'autopollen et en quelle proportion (fleurs autogames).

Si les fleurs sont autogames, le risque d'avoir des espèces hybrides sans castration des étamines est presque nul. Les fleurs allogames ont des fleurs nécessitant une intervention d'agents pollinisateurs pour leur fécondation : cela facilite l'hybridation. Si les fleurs ont un fort pourcentage d'autogamie, il faut castrer les fleurs. Les matériels utilisés ont été :

- des sachets en papier et des trombones pour isoler les fleurs et les mettre à l'abri des agents pollinisateurs (figures 13 et 14-1) et des marqueurs pour étiqueter les papiers sachets (figures 13 et 14-6),
- une pince à épiler pour enlever les étamines des fleurs femelles (castrations des fleurs) et un pinceau pour déposer les grains de pollen sur le pistil des fleurs castrées.

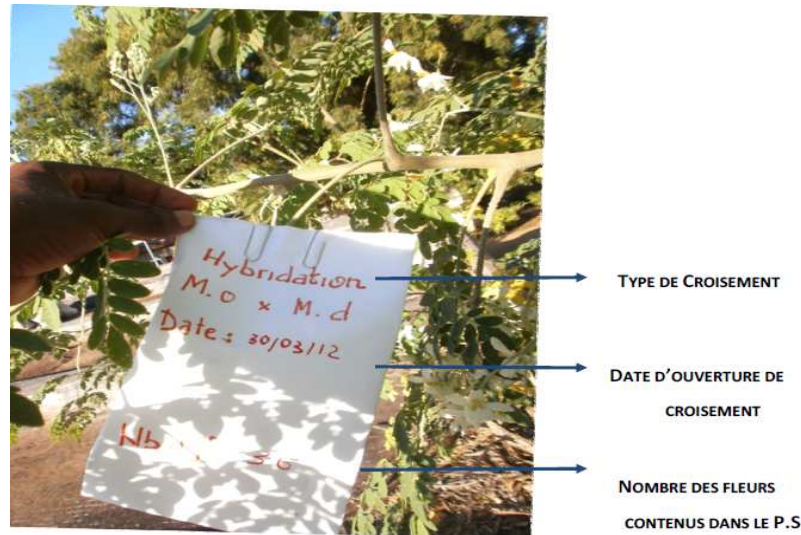


Figure 13 : Détails des données écrites sur les sachets (ANDRIANANTENAINA, 2013)

IV.4. 2 Étapes

Les croisements entre plantes hermaphrodites (fleurs bisexuées, mâle et femelle) sont plus difficiles que les croisements entre plantes monoïques ou dioïques. La castration des étamines, surtout si les fleurs sont de petite taille pose un véritable problème (figure 14).

Chacune des trois étapes suivantes doit être réalisée avec soins :

1. isolement des inflorescences immatures à l'aide d'un papier sachet (figures 15-1, 15-5 et 15-6). Il permet de tester si les fleurs sont autofécondes (taux d'autogamie) ;
2. une fois que les fleurs s'ouvrent, ôter les étamines avant que le pollen ne soit diffusé afin d'éviter une auto- fécondation possible (figure 15-2) ;
3. déposer sur le pistil le pollen provenant d'autres fleurs, prélevé à l'aide d'un pinceau (figures 15-3 et 15-4). On dépose sur le stigmate du pistil de la fleur précédemment castrée.

Ces différentes étapes se font dans les deux sens. A cause de la non simultanée de l'ouverture des boutons floraux de l'inflorescence isolée dans les sachets (floraisons centripètes), le croisement est réalisé en plusieurs journées.

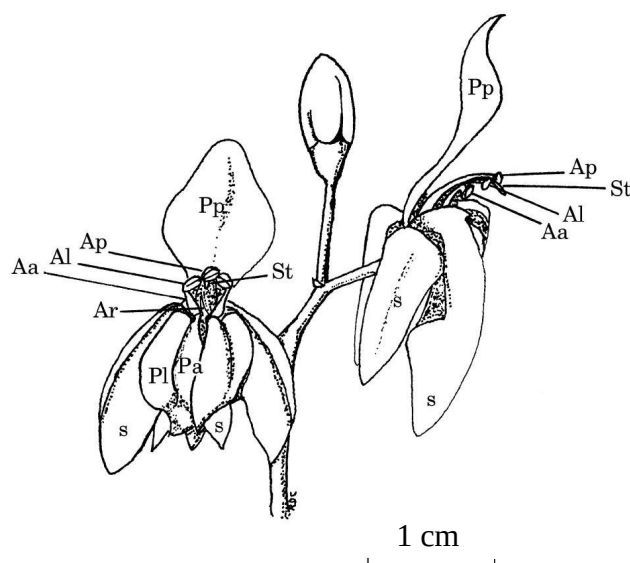


Figure 14 : Fleur zygomorphe de *M. oleifera* d'après RONSE DECRAENE (1998), le trait est de 1 cm. Légende : Pp : pétale postérieur ; Pl : pétale latéral ; Pa : pétale antérieur ; Ap : anthère déhiscente ; Al : anthères non déhiscentes ; Aa : filament de l'anthère ; Ar : staminode ; S : sépale ; St : style

IV.4. 3 Test d'autofécondité

845 fleurs de *M. drouhardii* ont été isolées sur deux arbres et 127 fleurs de deux arbres de *M. oleifera* (parents P). Les gamètes ont été notés de la manière suivante :

♀_d : gamète femelle de *M. drouhardii* ; ♂_d : gamète mâle de *M. drouhardii*,

♀_o : gamète femelle de *M. oleifera* ; ♂_o : gamète mâle de *M. oleifera*,

Les générations issues des autofécondations ont été notées de la manière suivante : F_d : 1ère génération d'autofécondation de *M. drouhardii* et F_o : 1ère génération de *M. oleifera*.

Il faut savoir que l'utilisation de marqueurs moléculaires a permis d'estimer à 26% le taux d'autofécondation chez *M. oleifera* (MULUVI et al., 2004).



Figure 15-1 : Isolement d'inflorescence immature à l'aide d'un sachet papier



Figure 15-2 : Retrait manuel des anthères des fleurs du parent « femelle »



Figure 15-3 : Prélèvement des grains de pollen

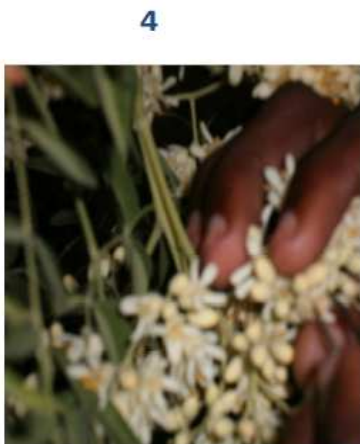


Figure 15-4 : Dépôt des grains de pollen prélevés sur le pistil



Figure 15-5 : Protéger dans un sachet la fleur de toute autre source de pollen



Figure 15-6 : Marquage des grappes des fleurs à croiser

Figures 15 : Méthode de croisement (ANDRIANANTENAINA, 2013)

IV.3. 4 Test d'allofécondité

Comme dans le test d'autogamie, il est important de confirmer le taux d'allogamie et le statut de l'espèce comme allogame ou non en croisant deux arbres de la même espèce soit *M. drouhardii* ou *M. oleifera*. La méthode est la même que dans le test d'autogamie : les boutons floraux sont parfaitement isolés et une fois que les fleurs s'ouvrent, elles sont castrées et le croisement fait en échangeant les grains de pollen. 939 fleurs des deux arbres de *M. drouhardii* ont été isolées et 92 fleurs de *M. oleifera*. Les notations suivantes ont été utilisées :

- P₁ : 1er arbre qui a deux gamètes différents *M. drouhardii* (M.d. ♀_{d1} et ♂_{d1}) ou *M. oleifera* (M.o. ♀_{o1} et ♂_{o1}) ;

- P₂ : 2ème arbre *M. drouhardii* (M.d. ♀_{d2} et ♂_{d2}) ou *M. oleifera* (M.o. ♀_{o2} et ♂_{o2}).

Hybridations effectuées : ♀_{d1} × ♂_{d2} → F_d et ♀_{o1} × ♂_{o2} → F_o

IV.3. 5 Les hybridations interspécifiques

Un hybride est le résultat du croisement de deux individus de deux variétés, de sous espèces (croisement intra spécifique), d'espèces différentes (croisement interspécifique) ou de genres différents (croisement inter générique). L'hybride présente un mélange des caractéristiques génétiques des deux parents. La méthode d'hybridation utilisée est celle du célèbre systématicien du XVIII^e siècle LINNÉ (1707-1778) sur le croisement entre *Tragopogon porrifolium* (salsifis cultivé) et *T. pratense* (salsifis sauvage) par le transfert du pollen du premier sur le second.

Dans le cadre de cette étude, les hybridations ont été réalisées entre *M. drouhardii* et *M. oleifera* et entre *M. oleifera* et *M. drouhardii*, le croisement réciproque (figure 15).

990 fleurs de *M. drouhardii* ont été isolées sur deux arbres ainsi que 142 fleurs de *M. oleifera* sur également deux arbres du jardin de la faculté des lettres et de sciences humaines à Maninday (Toliara) à partir du 12 mars 2012 (mise en place des sachets) et du 14 mars 2012 (début des croisements). La période optimale pour l'hybridation se situe de 8 h 30 à 11 h. Avant 8 h 30 le pollen n'est pas disponible et après 11h, le pollen perd beaucoup de ses qualités et le stigmate du pistil sèche. (<http://www.hemerocallia.com/hybridation.html>).

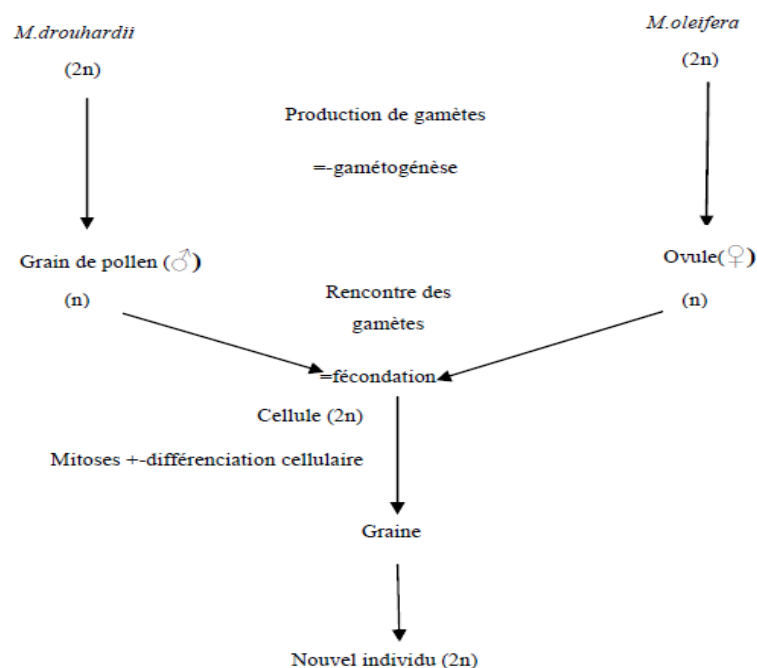


Figure 16 : Schéma des croisements interspécifiques réalisés (ANDRIANANTENAINA, 2013)

IV. 4 Extraction de l'huile de *M. drouhardii*

Son utilisation semble se limiter pour les ornements de village et des tombeaux. (<http://www.mobot.org/gradstudents/olson/moringahome.html>). Les fruits restent ainsi sous-exploités alors qu'ils donnent des graines capables de purifier les eaux, et qui sont aussi riches en huile. Les graines de *M. oleifera* donnent 36 - 45% d'huile, et cette huile est consommable en tant qu'huile de friture et huile de table (<http://www.moringanews.org>).

IV.4 1 Préparation des échantillons

La préparation des échantillons regroupe l'ensemble des opérations qui préparent la matière première à la trituration et l'extraction. Pour les graines oléagineuses, ce sont principalement : le nettoyage, le séchage, le décortilage, le broyage, la cuisson. Cette liste peut varier suivant le type de graine (RANDRIANOELINA et RATSIMBARIMANANA, 1994).

IV.4 1. 1 Nettoyage et triage des graines

Le nettoyage consiste à débarrasser manuellement les graines des produits étrangers qui risquent d'obstruer les appareils ou de nuire à la qualité du produit final : débris végétaux, boue, sable, etc. Le nettoyage s'opère par une séparation fondée sur la différence de densité entre les graines et les impuretés c'est-à-dire vannage et tamisage. Un triage est associé au nettoyage.

IV.4 1. 2 Séchage des graines

Après la récolte, il est indispensable de ramener les graines à une teneur en eau convenable pour :

- Stabiliser microbiologiquement les lots de graine pour un stockage éventuel ;
- Vaincre les forces de liaison entre l'amande et la coque. Le décollement de l'amande de la coque facilite le décortilage et réduit les pertes par cassure des amandes ;
- Obtenir une dureté suffisante requise par la presse.

En général, une humidité inférieure à 12% est convenable pour un stockage sans risque des graines. Le degré d'humidité finale recherché dépend de la matière première : 10% pour le soja, 5 à 6% pour le tournesol. Pour obtenir l'humidité voulue, différents procédés sont disponibles. On peut les regrouper par procédé naturel (séchage solaire) et par procédés artificiels (séchoirs à tunnels, fours). La durée de séchage peut varier et dépend de la teneur en eau de la graine (RAJERY, 2003). Nos échantillons ont été séchés au soleil pendant deux semaines.

IV.4 1. 3 Décortilage et broyage

Les amandes sont séparées des coques, après séchage. La séparation a été effectuée manuellement à l'aide d'un marteau, le but de cette opération étant de récupérer l'ensemble des amandes et d'éliminer toutes traces de débris de coque.

Le broyage consiste à réduire les dimensions de la graine entière afin d'obtenir une granulométrie plus faible et appropriée pour l'extraction. Le rendement en huile augmente par rupture des cellules oléifères et par augmentation de la surface de contact entre la graine et la cage de la presse. Il existe différentes techniques de broyage : par abrasion, par compression et par percussion. On obtient alors des particules d'épaisseur finale entre 0,01 à 0,5 mm suivant les graines ([http://www.la mécanique moderne.fr/défault.html/inst/](http://www.la_mécanique_moderne.fr/défault.html/inst/)).

IV.4 1. 4 Chauffage ou conditionnement thermique

Après le broyage, un traitement thermique est appliqué à la mouture de graines. Il permet de faciliter la pression et d'augmenter le rendement d'extraction. En plus de l'élévation de température, il est parfois couplé à une opération de cuisson. C'est pourquoi certains auteurs le désignent souvent par « conditionnement thermique » ou tout simplement « cuisson ». Par l'augmentation de la température à environ 65-70°C, les objectifs varient selon les procédés adoptés :

- coaguler les protéines afin de fusionner les gouttelettes d'huile emprisonnées dans la molécule ;
- ramollir les tissus des cellules afin de libérer les particules grasses ;
- ramener les graines à une humidité convenable pour la presse après la cuisson par le séchage.

IV.4. 1 Extraction

Pendant l'expérience, les essais sont basés sur l'extraction par pression. Cependant, l'extraction par solvant a été effectuée parallèlement à fin de comparer les résultats et de connaître la teneur en huile de la graine car elle peut tirer presque toute l'huile contenue dans les graines.

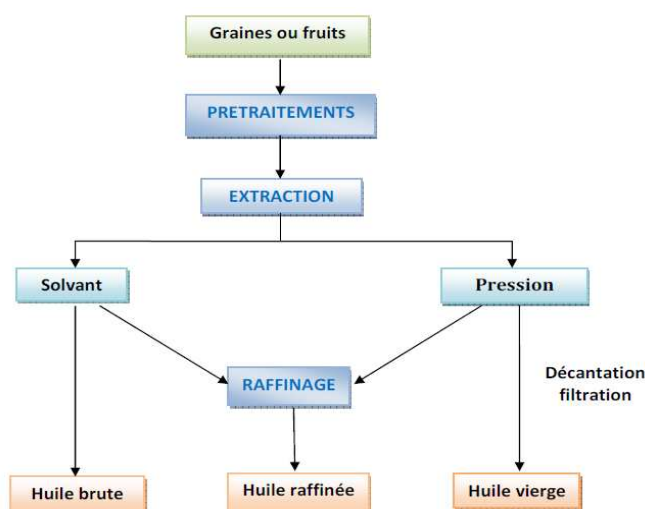


Figure 17 : Schéma simplifié d'extraction d'huile (RAJERY, 2003)

IV.4. 1. 1 Extraction par pression

À partir d'un produit composé de solides et de liquides, l'extraction par pression (ou pressage) permet de séparer les liquides en leur appliquant une pression extérieure. Le produit est supporté par une paroi ou une toile permettant le passage de l'état solide à l'état liquide (<http://www.la-mecanique-moderne.fr/default.html/inst/pression>). Il s'agit de faire sortir un liquide d'une masse poreuse sous l'effet d'une diminution de volume de l'ensemble. Les mécanismes de bases sont :

- La déformation d'un milieu complexe (mélange solide-liquide, le plus souvent cellulaire),
- L'écoulement du liquide à travers ce milieu poreux et la paroi, perforée ou poreuse.

Les conditions optimales d'extraction dépendent de :

- la presse utilisée : presse hydraulique (Machine Wolper Testwell) ;
- la méthode d'extraction : pression à froid ;
- la granulométrie des amandes : 800 μm ;
- la durée de la pression : 15 mn.

Nous avons préparé cinq échantillons d'extraction avec une quantité de matière première de 1577,44 g. La teneur en huile (en %) est déterminée par la relation poids de l'huile extraite par le poids de la « prise d'essai ».

IV.4. 1. 2 Extraction par solvant

L'extraction par solvant est la méthode la plus largement répandue pour l'obtention d'huiles issues de matériaux oléagineux. Il s'agit d'une opération de transfert de matière impliquant le contact entre un solide qui contient le soluté et un solvant qui le solubilise. En général, cette méthode nécessite plus d'investissement financier qu'un procédé mécanique. Les solvants les plus utilisés sont des hydrocarbures tels que l'hexane. Le n-hexane est :

- sélectif de l'huile,
- très volatile. Cette propriété est utilisée lors de la séparation solvant-soluté pendant l'évaporation,
- chimiquement inerte avec l'huile. Ceci évite notamment l'odeur résiduelle,
- stable à haute température.

L'extraction se fait à l'aide d'un extracteur de soxhlet (figure 18) qui comprend trois parties :

- un ballon contenant du solvant,
- une partie intermédiaire renfermant une cartouche en cellulose contenant le corps à extraire,
- Un réfrigérant.

Le solvant placé dans le ballon est porté à l'ébullition. Sa vapeur passe dans le tube et se condense dans le réfrigérant. Le liquide obtenu tombe sur la substance à épuiser. Lorsque la partie intermédiaire est suffisamment remplie de solvant, le siphon s'amorce et le solvant contenant la substance à extraire retourne dans le ballon. Pour la séparation et la récupération du solvant, l'hexane est évaporé au rotavapor. L'évaporation sera finalisée par étuvage et séchage dans un dessiccateur et l'huile récupérée est pesée. La durée d'une extraction est de 8 heures et la température d'extraction de 70 °C.

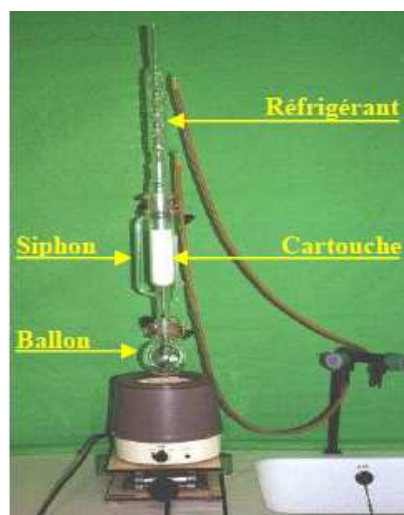


Figure 18 : Extracteur soxhlet de laboratoire (ANDRIANANTENAINA, 2013)

IV.4. 2 Le raffinage

Les huiles brutes obtenus dans les unités d'extraction sont rarement utilisables directement pour l'alimentation. Les impuretés sont présentes et il est nécessaire de les éliminer au cours d'une opération dite de « raffinage » (FRISTSCH, 1931).

IV.4. 2. 1 But de raffinage

Généralement, le raffinage des huiles brutes a deux buts principaux :

- l'obtention de produits de bonne conservation par élimination totale des impuretés favorisant le rancissement et la décomposition hydraulique des corps gras. Comme impuretés, on peut citer les matières étrangères solubles, les poussières, les débris de graines, eau, résines etc.,
- l'obtention de produits de couleur, de goût, et d'odeur conformes au désir du consommateur par élimination des matières colorantes, sapides ou odoriférantes.

IV.4. 2. 2 Les différentes étapes de raffinages

A l'échelle artisanale, l'huile ne subit que de simples séparations physiques qu'on désigne généralement par « clarification » ou « purification » pendant laquelle on élimine l'eau excessive et les impuretés. Le raffinage industriel (démucilagination, neutralisation, décoloration et désodorisation) consiste en une série de traitements physiques et chimiques effectués à des températures dépassant parfois 200°C (RAKOTONIRAKA, 1976).

IV.5 Caractéristiques physiques de l'huile

La caractérisation des huiles végétales est d'une grande importance puisqu'elle va dicter la condition de leurs utilisations et permet d'apprécier leurs qualités. Nous avons effectué l'analyse pour l'huile venant de l'extraction par presse et par solvant. Les méthodes que nous avons utilisées pour la détermination de ses caractéristiques sont celles proposées dans le recueil des normes françaises (AFNOR, 1993).

IV.5 1 Densité de l'huile

La densité relative d'une huile à 20°C est le rapport de masse d'un certain volume de l'huile à 20°C à la masse d'un volume égal d'eau distillée. Elle renseigne sur le groupe auquel appartient une huile :

- les huiles siccatives ont une densité D est $\geq 0,930$,
- les huiles semi-siccatives : $0,920 < D < 0,930$,
- les huiles non siccatives : $0,913 < D < 0,920$.

$$D = \frac{m_1 - m_0}{V}$$

La densité D est mesurée par pesées successives de l'échantillon avec un pycnomètre. Le mode opératoire est décrit en annexe. La densité est donnée par la relation suivante :

Avec : Source : (AFNOR, 1993)

m0 : masse, en gramme, du pycnomètre vide,

m1 : masse, en gramme, du pycnomètre rempli de corps gras,

V : volume, en millilitres (ml), de corps contenu dans le pycnomètre à la température t° .

IV.6 Caractéristiques chimiques de l'huile

IV.6 1 Indice d'iode (I.I.)

L'indice d'iode est défini comme le nombre de gramme d'halogène fixé par 100 g de produit exprimé en iode. Les liaisons éthyléniques des acides gras insaturés (AGI) contenues dans le

corps gras donnent avec l'iode des dérivés d'addition iodés. L'indice d'iode permet d'évaluer l'insaturation globale d'un corps gras. La détermination de cet indice a été effectuée suivant la norme NF VO3-903 utilisée par le service de contrôle des fraudes alimentaires. Les réactions chimiques produites sont :

- 1- Action du réactif HÛBL sur le corps gras insaturé,
- 2- Titrage de l'excès du réactif de HÛBL par l'iodure de potassium, KI, en excès.

L'indice d'iode est calculé par la formule suivante :

$$I.I. = \frac{1,269(V_0 - V)}{M}$$

Source : (AFNOR, 1993)

Avec :

V₀ : volume en ml de thiosulfate de sodium (Na₂S₂O₃) employé dans l'essai à blanc,

V : volume en ml de la solution de thiosulfate de sodium (Na₂S₂O₃) versé,

M : masse de la prise d'essai.

IV.6 2 Indice de saponification (I.S.)

L'indice de saponification (I.S) est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire pour transformer en savon les acides gras et les glycérides d'un gramme de corps gras (Norme NF VO3-903). Il consiste à faire réagir les bases fortes sur les esters de glycérol en donnant des sels d'acide gras (savon) et du glycérol. Après la réaction de saponification, l'excès de KOH est titré avec de l'acide chlorhydrique HCl pour déterminer la quantité de base forte qui a réagi avec la matière grasse.

Le calcul est donné par la formule suivante :

$$I.S. = \frac{28,05(V_0 - V_1)}{m}$$

Source : (AFNOR, 1993)

Avec :

V₀ : volume de HCl en ml utilisé pour l'essai à blanc,

V₁ : volume de HCl en ml utilisé pour l'essai avec l'huile,

m : masse de la prise d'essai en gramme.

IV.6 2 Indice d'acide (I.A.)

Par définition l'indice d'acidité est le nombre de milligrammes de potasse (KOH) nécessaire pour neutraliser les acides gras libres contenus dans un gramme de matière grasse. Il renseigne sur le degré d'altération d'une huile par hydrolyse des glycérides (norme NF VO3-903).

La matière grasse est mise dans un mélange d'oxyde diéthylénique et d'éthanol, puis on titre les acides gras libres présents par de la potasse éthanolique.

Le résultat est exprimé par la formule suivante :

$$I.A. = \frac{56,1 \times V \times N}{m}$$

Source : (AFNOR, 1993)

Avec :

V : volume de KOH versé en ml,

N : normalité de KOH,

m : masse, en gramme, de la prise d'essai

IV. 7 Clarification de l'eau polluée

L'accès à l'eau potable reste un défi pour les pays en voie de développement. Pallier les risques liés à la consommation de l'eau en milieu rural et en milieu urbain demeure une priorité. A ceci s'ajoute le traitement des rejets d'eau polluée de toute sorte avant d'être déversés dans les rivières.

IV.7 1 Échantillonnage et méthodes de caractérisation

IV.7 1. 1 Échantillonnage des eaux brutes et prélèvements

Deux eaux de rivières (eau de surface) ont été prélevées. Il s'agit de l'eau de la rivière *Fiherenana (Toliara)* et de l'eau d'*Ikopa (Antananarivo)*. De l'eau usée a été prélevée au rejet de la zone Forello. Les graines matures de *Moringa* ont été collectées à Toliara durant le mois de juillet jusqu'au mois d'août 2012 quand les gousses sont arrivées à l'état de déhiscence. Les gousses ainsi collectées sont étalées sur une surface dure et propre (nattes). Les gousses éclatent en séchant, libérant les graines qui par la suite sont conservées à l'air ambiant. Il faut que la graine possède un péricarpe qu'on devra éviter tout dommage mécanique pour assurer une meilleure conservation.

IV.7 1. 2 Méthodes d'expérimentation

Dans l'essai, c'est la mesure de la turbidité qui a servi de base à toutes les analyses en particulier la détermination de la dose optimale de coagulant. Pour déterminer la dose optimale, un ajout

croissant de poudre de graine est effectué suivi de la mesure de la turbidité pour chaque dose. Pour y arriver, l'évolution de la turbidité en fonction du temps a été enregistrée.

IV.7 1. 3 Analyses des graines et essai de floculation

La partie utilisée de la graine est l'amande. L'amande est pressée pour en extraire l'huile. Le tourteau est broyé et filtré à l'aide d'un tamis de diamètre 5 cm. On obtient ainsi une farine qui va servir pour toutes les analyses.

La méthode utilisée pour l'essai de floculation est le « Jar-test ». L'essai fait appel à un appareil appelé « Flocculateur ». Cet appareil aide à déterminer les doses de coagulant pour le traitement des eaux. Il est muni d'un dispositif de régulation qui permet d'agiter à une vitesse déterminée, le liquide (eau brute et coagulant à différentes doses) contenu dans une série de béchers identiques pendant environ 22 mn. Le brassage est indispensable pour faciliter le mélange et surtout favoriser la floculation.

IV.7 1. 4 Analyse des eaux

Pour chaque essai des analyses avant et après le traitement sont effectuées pour les paramètres physico-chimiques et microbiologiques de l'eau. Pour les eaux de surface, les analyses suivantes sont effectuées avant et après traitement :

- la turbidité quantifie les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques, etc.). Une turbidité forte permet aux microorganismes de se fixer sur les particules en suspension. Elle se mesure à l'aide d'un « turbidimètre », l'unité employée est le « Nephelometric Turbidity Unit » ou NTU ;
- le pH (potentiel Hydrogène) qui mesure la concentration en ions H_3O^+ de l'eau. Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie ;
- la conductivité qui mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.
- la température car la conductivité est fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les mesures de conductivité doivent être présentes en termes équivalents à 20 ou 25°C. Comme la température, des contrastes de conductivité permettent de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltration. La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau

Pour les eaux usées, les paramètres suivants sont analysés avant et après chaque traitement : turbidité, pH et conductivité.

IV.7 1. 4 L'analyse bactériologique

Pour apprécier le pouvoir antibactérien des graines de *M. drouhardii*, une analyse bactériologique des germes a été effectuée. Ces germes sont :

- les coliformes totaux dont *Escherichia coli* est l'espèce la plus importante ;
- les coliformes fécaux thermotolerants ;
- les streptocoques fécaux ;
- le clostridium sulfito-réducteur ;
- la Flore totale mésophile

IV. 8 Analyse des tourteaux

L'analyse des tourteaux est importante car elle permet de valoriser ces produits dérivés de l'extraction de l'huile.

IV. 8 1 Analyses chimiques du tourteau

IV.8 1. 1 Teneur en eau et matières volatiles

La méthode utilisée est le même principe que celle de la teneur en eau de l'amande et de la coque donc selon la norme AFNOR.

IV.8 1. 2 Teneur en cendres brutes

On entend par cendres brutes le résidu obtenu après incinération à 500 °C du tourteau selon la norme AFNOR NFT 60-209 dans un four électrique. Jusqu'à une masse pratiquement constante. Le pourcentage en masse de cendres brutes est exprimé par la formule suivante :

$$C_b \% = \frac{(m_2 - m_0)}{(m_1 - m_0)} \times 100$$

Avec :

Source : (AFNOR, 1993)

m0 : masse en grammes de la capsule d'incinération ;

m1 : masse en gramme de la capsule d'incinération chargée de la prise d'essai ;

m2 : masse en gramme de la capsule d'incinération chargée des cendres.

IV.8 1. 3 La teneur en cellulose

Par convention, on appelle cellulose le résidu insoluble obtenu par hydrolyse acide et hydrolyse alcaline de l'échantillon.

Le pourcentage en cellulose est exprimé par la formule suivante :

$$C\% = \frac{P - P'}{m} \times 100$$

Source : (AFNOR, 1993)

Avec :

P : masse, en grammes du filtre,

P' : masse, en grammes du filtre après incinération,

m : masse, en grammes de la prise d'essai.

IV.8 1. 4 Teneur en protéine

Ce sont les matières organiques azotées. Outre le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, elles renferment de l'azote. Le dosage de l'azote contenu dans l'échantillon est analysé selon la méthode de KJELDAHL par transformation de l'azote organique en azote minéral sous forme ammoniacale $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ assurée par action oxydative de l'acide sulfurique, H_2SO_4 concentré en présence d'un catalyseur. L'ammoniac libéré du sulfate d'ammonium par alcalinisation et distillation est recueilli par l'acide borique contenant un indicateur. Il est titré par l'acide sulfurique dilué.

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

$$N\% = \frac{V \times 0,01 \times 0,14}{m} \times 100$$

Source : (AFNOR, 1993)

Avec :

V1 : volume en ml de H_2SO_4 0,01N ayant titré le distillat,

m : masse en gramme de la prise d'essai.

Le pourcentage de protéines totales, P%, est obtenu par la multiplication du pourcentage de l'azote total par le facteur de conversion 6,25.

IV. 8 2 Test toxicologique du tourteau de *M. drouhardii*

IV. 8 2. 1 Extraction des principes actifs

L'extraction des principes actifs permet de recueillir, dans une solution aqueuse, les substances à effet toxique, hydrosolubles, contenues dans le tourteau. Il s'agit d'une extraction à froid. L'extraction consiste à délayer 10 g de poudre de tourteau dans 100 ml d'eau distillée qui est le solvant d'extraction (dans un rapport poids/volume 1/10). Le mélange est soumis à une agitation magnétique. Puis, on laisse macérer dans l'eau pendant 1 heure à 4°C pour permettre la

migration des substances contenues dans le tourteau. Après macération, on ré agite puis on filtre afin d'éliminer le marc. Le filtrat obtenu est centrifugé pour séparer le culot, qui est constitué de particules insolubles, et le surnageant, qui, après évaporation du solvant d'extraction, permet d'obtenir jusqu'à 10 ml de volume (rapport poids/volume =1).

IV. 8 2. 2 Purification des principes actifs

La purification permet d'isoler les principes actifs se trouvant dans l'extrait brut et d'éliminer les contaminants. La purification des principes actifs présents dans l'extrait brut a été effectuée par deux techniques : un traitement par la chaleur, ou une précipitation par de l'éthanol.

Sous l'action de la chaleur, certaines macromolécules se coagulent, des substances thermo instables sont détruites, et des produits volatiles s'échappent de l'extrait. Après refroidissement, une centrifugation permet de recueillir un surnageant contenant les produits thermostables et un culot qui est constitué par les macromolécules précipitées. Ce surnageant constitue l'extrait purifié par traitement par la chaleur.

IV. 8 2. 2 Test de toxicité sur des animaux

Des tests sur des animaux à sang chaud ont été faits. Ils évaluent le degré de toxicité des extraits de tourteau en suivant les symptômes d'intoxication ou de non intoxication.

Il s'agit d'une injection intra-péritonéale des extraits bruts, l'extrait purifié par traitement à la chaleur et l'extrait purifié par précipitation par l'éthanol à une concentration de 0,3 mg /25 g de souris. Quatre lots de souris ont été utilisés dont l'un sert de témoin. Après l'injection, les symptômes d'intoxications dues aux principes actifs présents dans chaque extrait ont été observés.

A partir des symptômes, on détermine le degré de toxicité de chaque extrait et le type d'intoxication grâce au temps nécessaire pour constater le décès des animaux.

TROISIÈME PARTIE

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

V. Résultats des enquêtes dans les trois sites

Dans certains villages (cas d'*Antafoke*) où la population utilise des plantes médicinales faute de dispensaires, le *Moringa* est utilisé dans la pharmacopée locale. La tradition joue un rôle dans cette influence de la pharmacopée traditionnelle qui utilise l'écorce de *Moringa* pour traiter la fièvre jaune et parfois le rhume. Selon eux, l'utilisation de *Moringa* est efficace car il y a plusieurs malades qui ont guéri de la fièvre jaune. Les femmes qui vont accouché l'utilisent aussi. C'est pourquoi, des *Moringa* sont plantés dans les cours.

Les *Moringa* dans la cour représentent une valeur culturelle. D'après certains paysans, c'est une plante sacrée dont le nom est celui d'un célèbre Roi *Mahafaly*. Cet arbre, comme le tamarinier, abriterait l'esprit des ancêtres pouvant protéger de l'action maléfique des gris gris. *M. drouhardii* est sacré et tabou dans la région de Saint Augustin. (DAMA, 2011). Seuls les plus âgés ont le droit de cultiver *Moringa*.

D'autres paysans affirment que *M. drouhardii* et *M. hildebrandtii* sont toxiques et nient qu'on puisse purifier l'eau à l'aide de leurs graines broyées. Malgré ces avantages, les *Moringa* restent donc peu valorisés et parfois délaissés.

En général, les paysans ont l'habitude d'exploiter les ressources forestières pour le bois de chauffe, les plantes médicinales, etc. L'enquête a été menée auprès de personnes cibles. Parmi les personnes enquêtées, nombreux d'entre elles ont exprimé un même point de vue concernant l'importance des *Moringa* mais quelques personnes ignorent encore l'utilité de ces arbres.

Le recensement du nombre d'arbres de *M. drouhardii* dans les trois sites géographiques a donné les résultats suivants :

1-Site1 : à Ambanilia (flanc de Bina) : du côté plateau, 52 arbres et du côté littoral, 19 arbres.

2-Site 2 : Antafoke : 145 arbres.

3-Site 3 : Ville de Toliara : Cedratom, jardin botanique de faculté des lettres et de Sciences humaines, dans le *fokontany* d'*Anketraky* : 111 arbres.

Les caractéristiques moyennes de ces arbres (hauteur, diamètre, pourcentage de fructification, nombre de gousses et longueur des gousses) ont été déterminées (tableau 4).

Au niveau de la hauteur, il n'y a pas de différence entre les arbres à l'état sauvage et cultivé à Toliara mais les arbres plantés à Toliara ont de plus gros diamètres (tableau 4). Ces moyennes n'ont pas été testées statistiquement.

Tableau 3 : Caractéristiques moyennes des arbres des trois sites enquêtés

Sites	Hauteur (m)	Diamètre (cm)	Pourcentage de fructification (%)	Nombre de gousse	Longueur des gousses (cm)
<i>Ambanilia</i> (Plateau)	2,5	81	21	9	6 à 8
<i>Ambanilia</i> (littoral)	2,6	82	79	16	6 à 8
<i>Antafoke</i>	3	82	63	25	6 à 8
Ville de Toliara	3,5	95	95	52	6 à 12

Les arbres dans la ville de Toliara présentent une fructification et un nombre de gousses importants (tableau 4).



(a) : Sur le flanc de Bina

(b) : Au CEDRATOM Toliara

(c) : Dans la Reserve
d'Amron'Onilahy

Figures 19 : *Moringa drouhardii* (ANDRIANANTENAINA, 2013)

Il existe d'autres différences morphologiques entre arbres dans la nature sur sols calcaires et plantés en ville. Par exemple au niveau des tiges, la ramification est plus développée chez *M. drouhardii* de la ville de Toliara (figure 19b), par rapport aux deux autres *Moringa* (figures 19a et 19c).

Toutes ces différences peuvent s'expliquer par différents facteurs abiotique dont :

- des facteurs édaphiques : les caractéristiques du sol dans la NAP *Tsinjoriake* et la NAP *Amoron'Onilahy* sont de type calcaire. L'aération des racines est moins bonne et la teneur en eau est faible. Par contre, dans la ville de Toliara, le sol est de type sable brun ou quelque fois roux et la teneur en eau du sol est plus abondante que dans la Reserve naturelle ;
- des facteurs climatiques : les Moringa à l'état sauvage sont plus exposés au soleil, au vent et à la sécheresse. Comme on le voit, les Moringa du flanc de Bina dans la zone littorale (figure 19a) ont un taux de fructification plus élevé que sur le plateau calcaire (tableau 4).

V.1 Floraison et fructification

V.1 1 Chez *M. drouhardii*

L'arbre commence à produire des fruits vers l'âge de trois ans, quand il atteint une taille de 3 à 4 mètres. La feuillaison se déroule durant les mois d'octobre-décembre tandis que la fructification aura lieu pendant les mois de février-mai. Les graines matures seront collectées durant les mois de juillet à la fin de septembre.

Les gousses sont de couleur brun kaki de 30 à 50 cm de longueur sur environ 4 cm de diamètre, à section circulaire légèrement triangulaire, présentant des constriction entre chaque graine.

Une plante adulte produit annuellement des fruits en gousses qu'on peut estimer à environ 90 gousses. Cette valeur varie suivant le lieu de plantation, et une gousse comporte en moyenne 6 à 12 graines.

V.1 1. 1 Gousses

Une gousse non mûre pèse en moyenne 212,7 g. et mûre environ 43,2 g. Il y a lors de la maturation une perte de poids de l'ordre de 80% (figures 20).



(a)



(b)

Figures 20: Gousses non mûres (a) et mûres (b) de *M. drouhardii* (ANDRIANANTENAINA, 2013)

La gousse immature mesure en moyenne 55 cm avec un minimum de 48 cm et un maximum de 60 cm tandis que le fruit mûr mesure en moyenne 41 cm avec un minimum de 29,7 cm et un maximum de 49 cm. Par contre, la taille de la gousse n'influence pas le nombre de graines.

V.1 1. 2 Les graines

La graine se compose d'une partie externe cellulosique ou coque qui entoure l'amande. Elle est de couleur blanche plus ou moins ovoïde (figures 21).



(a) Les graines



(b) Les amandes

Figures 21 : Graines (a) et amandes (b) de *M. drouhardii* (ANDRIANANTENAINA, 2013)

Le poids moyen de graine mûre est de 4,82 g tandis que l'amande est de 2,64 g (moyennes sur 10 graines). L'enveloppe ou coque représente environ 45,23 % du poids de la graine entière, et l'amande 54,77 %. Le diamètre de la graine de *M. drouhardii* est en moyenne de 1,95 cm.

La teneur en eau des graines de *M. drouhardii* est assez faible (6,64% en moyenne sur cinq graines dans l'amande et 5,13% dans la coque). Elle est indispensable pour éviter une hydrolyse

éventuelle des huiles obtenues et permet de stocker les graines pendant une longue durée. Les graines de *M. drouhardii* sont plus sèches par rapport à celle de *M. oleifera* (6,99% de teneur en eau moyenne sur cinq graines des amandes et 6,52% dans la coque). Leurs différences dépendent peut être de la condition de séchage après récolte.

V.1 2 Chez *M. hildebrandtii*

Les arbres de *M. hildebrandtii* sont peu nombreux dans la ville de Toliara. Quelques unes de leurs caractéristiques ont été mesurées sur 50 arbres (tableau 5).

Tableau 5 : Caractéristiques mesurées sur 50 arbres de *M. hildebrandtii* à Toliara

Site	Diamètre (cm)	Hauteur (m)	Nombre de gousse	Pourcentage de fructification (%)	Longueur d'une gousse (cm)
Ville de Toliara	98	4	45	97	30 à 45

V.1 2. 1 Gousses

Une gousse immature pèse en moyenne sur cinq gousses 228,6 gr et une gousse à maturité en moyenne 47 g. Il y a donc lors du murissement une perte de poids de l'ordre de 80%. La gousse immature mesure en moyenne 59 cm, avec un minimum de 50 cm et maximum de 65 cm, tandis que le fruit très mûr mesure en moyenne 44,4 cm, avec un minimum de 38 cm et un maximum de 51 cm.

V.1 2. 2 Les graines

Le nombre de graines par gousse varie en moyenne sur cinq gousses 12,4 graines (10-15). Par contre, la taille de la gousse ne semble pas influencer le nombre de graines.

V.2 Résultats des essais d'hybridation

Tableau 3 : Comparaison des fleurs des deux espèces de *Moringa*

Pièces florales	<i>M. oleifera</i>	<i>M. drouhardii</i>
Bouton floral	Préfloraison valvaire	Préfloraison valvaire
Nombre de pétale et disposition	5, libre (couleur blanche)	5, libre (couleur jaune)
Nombre de sépales et la disposition	5, libre (couleur blanche)	5, libre (couleur jaune)
Symétrie des fleurs	actinomorphe	actinomorphe
Type d'inflorescence	Simple, en grappe et centripète	Simple, en grappe et centripète

V.2 1 Test d'autogamie

Le résultat des taux d'autofécondité des deux espèces *M. drouhardii* et *M. oleifera* montre que le taux d'autofécondité est d'environ 24 % entre les deux espèces (tableau 6).

Cette estimation du taux d'autofécondation est comparable aux 26% estimés chez *M. oleifera* (MULUVI et al. 2004).

Tableau 6 : Taux d'autofécondité des deux espèces *M. drouhardii* (M.d.) et *M. oleifera* (M.o.) mesurés par le nombre de fleurs fécondées dans quatre sachets.

Test d'autofécondité		Papier sachet				Total	Moyennes
		1	2	3	4		
Nombre des fleurs isolées	M.d	224	215	198	208	845	
	M.o	35	42	28	22	127	
Nombre des fleurs fécondées	M.d	59	51	55	41	206	
	M.o	9	8	7	5	29	
(%) de fleurs fécondées	M.d	26	24	28	20		24,5
	M.o	25	20	27	23		23,7

V.2 2 Test d'allofécondité

Le taux d'allofécondité est très important chez les deux espèces, 66% chez *M. drouhardii* et 74% chez *M. oleifera* (tableau 7). Pour *M. oleifera*, il confirme le taux d'autofécondité mais le taux estimé de 34% pour *M. drouhardii* est plus élevé que dans le test d'autofécondité (tableau 6).

Les deux espèces sont allogames. Donc, une hybridation entre *M. drouhardii* et *M. oleifera* est possible mais avec obligation d'une castration des étamines.

Tableau 7 : Taux d'allofécondité des deux espèces *M. drouhardii* (M.d.) et *M. oleifera* (M.o.) mesurés par le nombre de fleurs fécondées dans quatre sachets.

Test d'allofécondité		Papier sachet				Total	Moyennes
		1	2	3	4		
Nombre des fleurs	M.d	218	268	178	275	939	
	M.o	36	18	15	23	92	
Nombre des fleurs fécondées	M.d	130	146	131	209	616	
	M.o	27	14	12	14	67	
Pourcentage de fleurs fécondées (%)	M.d	60	54,5	74	76		66
	M.o	75	78	81,5	62		74

V.2 3 Hybridations

L'hybridation entre *M. drouhardii* (M.d) et *M. oleifera* (M.o) est possible mais le sens du croisement est très important. Le taux de réussite du croisement *M. drouhardii* mâle sur *M. oleifera* femelle est de 19%, alors que pour le croisement *M. oleifera* mâle sur *M. drouhardii* femelle est nul (tableau 8). Ceci amène à dire que les résultats des hybridations entre ces deux espèces dépendent du sens des croisements.

Tableau 8 : Taux d'hybrides dans le croisement entre les deux espèces *M. drouhardii* (M.d.) et *M. oleifera* (M.o.) mesurés par le nombre de fleurs castrées fécondées dans quatre sachets.

Hybridation		Sachet				Total	Moyennes
		1	2	3	4		
Nombre des fleurs castrées	M.d	306	216	198	270	990	
	M.o	26	36	42	38	142	
Nombre des fleurs fécondées	M.d	0	0	0	0	0	
	M.o	5	11	6	6	28	
(%) de fleurs fécondées	M.d	0	0	0	0		0
	M.o	19	30	14	16		19

V.2 4 Analyse et suivi du développement des gousses hybrides

Pour les deux espèces, le rendement en nombre de gousses de l'allofécondation est plus élevé que celui de l'autofécondation (tableau 9). Concernant l'hybridation, les gousses ne sont pas remplies de graines. Les facteurs de risque pour l'hybridation artificielle ou dans la nature sont élevés.

Tableau 9 : Taux de viabilité des gousses suivant le type de croisement entre les deux espèces *M. drouhardii* (M.d.) et *M. oleifera* (M.o.) et le temps de maturation (de deux jours à 20 jours).

Type de croisement		Nombre de jours après la fécondation										Total	% de viabilité
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20		
Autofécondation	M.d (206)	30	52	52	25	4	10	5	0	7	3	188	8,7
	M.o (29)	2	14	3	2							21	27
Allofécondation	M.d (616)	30	79	37	23	15	8	0	7	3	6	208	66
	M.o (67)	3	8	0	2	1	2	2	3	0	2	44	65
Hybridation	M.o	2	11	10	5							28	0

V.3 Résultats de l'extraction de l'huile de *M. drouhardii*

V.3 1 Résultat de l'extraction de l'huile par pression

La quantité d'huile obtenue de 500 g de graines est 96,3 g. Donc le rendement d'extraction est de 19.26%. Le principe de la récupération des restes d'huile après l'extraction par pression est très simple si on travaille à froid. On fait couler l'hexane (qui est le solvant d'extraction) sur le tourteau (dans cet exemple 403,7g) et on laisse macérer pendant 24h dans une quantité d'hexane suffisante. Par diffusion, l'hexane se charge en huile et rencontre le tourteau presque entièrement déshuilé. On a obtenu 32,45 g d'huile (rendement d'extraction de 8.04 %). Après avoir effectué deux extractions successives, la teneur en huile des graines de *M. drouhardii* est de 25,75%.

Plusieurs autres extractions ont été réalisées. Nous avons obtenu en moyenne un pourcentage d'huile faible de 20,58% mais l'avantage est l'obtention d'une huile en bonne qualité (tableau 10). Ces résultats montrent que le tourteau contient encore une quantité assez importante de matières grasses.

Tableau 10 : Rendement en huile H (%) de l'extraction par pression de plusieurs échantillons de graines. m_1 : poids de graines utilisées en grammes ; m_2 : poids en grammes de l'huile extraite ; $H\% = (m_1/m_2) \times 100$.

Échantillons (g)	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	Moyennes
m_1	400	202,3	330,03	300	345,11	315,49
m_2	80,01	41,1	67,16	65,28	70,76	70,25
H%	20	20,31	20,34	21,76	20,5	20,58

V.3 2 Extraction par solvant

L'extraction par solvant dure 8 heures à la température de 70 °C. Plusieurs échantillons de graines ont été extraits (tableau 11). Après avoir effectué le calcul de H%, la teneur en huile de la graine de *M. drouhardii* est en moyenne de 35,03 %.

Tableau 11 : Rendement en huile H (%) de l'extraction par solvant. m_1 : poids de graines utilisées en grammes ; m_2 : poids en grammes de l'huile extraite ; $H\% = (m_1/m_2) \times 100$.

Échantillons	e_1	e_2	e_3	Moyenne
m_1	500	475	500	491,66
m_2	175,56	166,11	175,05	178,05
H%	35,11	34,97	35,01	35,03

Cette valeur est inférieure à celles de certains auteurs (36 - 45 %). La différence peut provenir des conditions climatiques, du caractère acido-basique du sol.

V.3 3 Extraction par pression à froid puis extraction du tourteau par solvant

Le tourteau obtenu après extraction par presse à froid est traité à nouveau pour une deuxième extraction par solvant. Le rendement d'extraction est de 10,23 %. Après avoir effectué les deux extractions successives (presse et solvant), la teneur en huile des graines de *M. drouhardii* est de 30,21 %. Cette valeur est relativement faible par rapport à celle de l'extraction par solvant.

La teneur en huile de *M. drouhardii* et celle de *M. oleifera* (38 - 42 %) sont proches.

Les graines de *M. drouhardii* sont plus riches en huile que certains oléagineux comme le soja (15 - 22 %), les cotons (15 - 22 %), mais moins riches que les graines d'arachide (38 - 50 %), de colza (40 - 45 %) et de palme (46 - 50 %).

V.3 4 Caractéristiques physiques de l'huile des graines de *M. drouhardii*

V.3 4 1 Description des caractères organoleptiques de l'huile

L'huile de *M. drouhardii* est fluide, limpide, onctueuse, de couleur jaune claire (figures 22) et d'odeur caractéristique. L'huile extraite au soxhlet a un aspect plus limpide que celle obtenue par pression à froid, probablement parce qu'il y a moins de particules entraînées. Après filtration, on obtient de l'huile limpide.



(a) Huile extraite par solvant



(b) Huile extraite par pression à froid

Figures 22 : Huiles de *M. drouhardii* (ANDRIANANTENAINA, 2013)^o

V.3 4 2 Résultats et interprétation

La comparaison entre les valeurs des caractéristiques physico-chimiques de l'huile de *M. drouhardii* à de l'huile de *M. oleifera* montre que la valeur de la densité de l'huile de *M. drouhardii* extraite par pression est supérieure à celle de l'extraction par solvant.

L'indice d'acide est l'indice fondamental sur la qualité des huiles. Si l'huile est plus acide, elle risque de s'altérer facilement (tableau 12). D'après les résultats obtenus, l'échantillon étudié d'huile de *M. drouhardii* est peu acide (de 1,50 à 1,96 suivant le type d'extraction), beaucoup moins que l'huile de graines de *M. oleifera*. La valeur de l'indice d'iode est relativement faible, c'est-à-dire que le degré d'insaturation de l'huile est faible (l'huile de *M. oleifera* serait meilleure). L'indice de saponification est relié à la longueur moyenne des chaînes grasses contenues dans un corps gras. Il est inversement proportionnel au poids moléculaire.

Ainsi pour le cas de notre échantillon, les valeurs suffisamment élevées observées qui sont respectivement de 190 indiquent qu'il est constitué d'acide gras à faible poids moléculaire. Plus l'indice de saponification est élevé, plus la réaction de saponification est rapide ou le corps gras est plus facilement saponifiable (RANDRIANOELINA et RATSIMBARIMANANA, 1994).

Tableau 12 : Comparaison des caractéristiques physico-chimiques de l'huile de *M. drouhardii* (analyses effectuées au laboratoire de l'ESPA) et de l'huile de *M. oleifera*. Légende :D20 : densité relative d'une huile à 20°C ; I.I : indice d'iode ; I.S : Indice de saponification ; I.A. : Indice d'acide. Pour l'huile de *M. oleifera*, données de RATSIFEHERA (2004).

Caractéristiques physico chimiques des huiles	Huile de <i>M. drouhardii</i>		Huile de <i>M. oleifera</i>
	Extraction par solvant	Extraction par pression à froid	
Densité relative d'une huile à 20°C (D20)	0,905	0,912	0,915
Indice d'iode (I.I.)	80	-	73,3
Indice de saponification (I.S.)	188	190	191,52
Indice d'acide (I.A.)	1,50	1,96	2,39

L'huile de *M. drouhardii* possède donc toutes propriétés d'une huile résistante au rancissement et facilement saponifiable appartenant à la classe des huiles nonsiccatives.

Pour l'indice d'acide, le résultat d'analyse effectuée au laboratoire fraude alimentaire est élevé, de même que pour l'indice de saponification. Toutes ces différences peuvent être causées par les manipulations. Les caractéristiques physico-chimiques des huiles dépendent aussi des conditions de traitement des matières premières et de stockage de l'huile.

L'obtention de l'huile de bonne qualité demande donc beaucoup de précaution dès la récolte et jusqu'au stockage. Mais tous les résultats montrent que l'huile de *M. drouhardii* est en bonne qualité.

V.4 Clarification de l'eau avec des graines de *M. drouhardii* comme coagulant

V.4 1 La dose optimale de traitement

V.4 1. 1 Avec l'eau de la rivière Fiheranana

Les conditions opératoires ont été : pH du milieu égal à 7.2 et la conductivité à 46.3 mS/cm.

La dose optimale de *M. drouhardii* est de 200 mg/l. Cette dose conduit a une turbidité minimale après 6 heures de traitement de l'eau du Fiheranana (5 NTU). Le gain de turbidité est de 75% (tableau 13). L'emploi des graines de *M. drouhardii* nécessite beaucoup de temps et la valeur de la turbidité reste élevée.

Tableau 13 ; Durées de traitement et doses optimales de graines de *M. drouhardii* pour clarifier l'eau du Fiheranana.

Doses (mg/l)	100	150	200	250	300
Turbidité à 0 mn (NTU)	20	20	20	20	20
Turbidité à 60 mn (NTU)	19	18	15	18	19
Turbidité à 120 mn (NTU)	17	15	13	12	18
Turbidité à 180 mn (NTU)	13	10	10	11	16
Turbidité à 240 mn (NTU)	12	8	5	7	10

V.4 1. 2 L'eau d'Ikopa

Les conditions opératoires ont été : pH du milieu égal à 8.1 et conductivité 52.3 mS/cm. La dose optimale de graines de *M. drouhardii* est de 250mg/l, cette dose conduit a une turbidité minimale après 6 heures de traitement (6 NTU) et le gain de turbidité à la fin de l'essai est de 94% (tableau 14).

Tableau 14 : Durée de traitement et la dose optimale pour l'eau d'Ikopa.

Doses (mg/l)	100	150	200	250	300
Turbidité à 0 mn (NTU)	100	100	100	100	100
Turbidité à 60 mn (NTU)	80	85	87	70	65
Turbidité à 120 mn (NTU)	74	70	75	25	41
Turbidité à 180 mn (NTU)	50	60	65	10	3
Turbidité à 240 mn (NTU)	20	20	30	6	25

V.4 2 L'évolution des paramètres physiques

A partir des doses optimales, les paramètres physiques de l'eau sont enregistrés avant et après le traitement.

V.4 2. 1 Eau de *Fiherenana*

Les paramètres de l'eau changent en fonction des traitements qu'elle subit, on note une baisse de pH (tableau 15). Pour le traitement avec *M. drouhardii* les valeurs évoluent peu.

On remarque l'eau traitée par les graines de *M. drouhardii* est dans les normes, ce qui signifie que l'eau traitée est potable de point de vue physico-chimique.

Par contre, les normes OMS exigent que l'eau atteigne une turbidité de 5NTU ou de 1NTU si elle doit subir un traitement de désinfection car les matières en suspensions sont un obstacle à l'action du chlore. L'eau traitée par les graines de *M. drouhardii* pourrait poser un problème lors de la désinfection avec le chlore parce qu'il doit y avoir un produit organochloré qui gêne la désinfection et ce en diminuant le pouvoir désinfectant du chlore.

Tableau 15 : Évolution des paramètres à la dose optimale de graines de *M. drouhardii* (200 mg/l) pour clarifier l'eau de *Fiherenana* et à la dose optimale de 250 mg/l pour clarifier l'eau d'*Ikopa*.

Origines des eaux à clarifier	Paramètres	Avant traitement	Après traitement <i>M. drouhardii</i>	Normes
Eau de <i>Fiherenana</i>	pH	7,2	6,8	6,5-9,5
	Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	46,3	45,7	≤ 2000
Eau d' <i>Ikopa</i>	pH	8.1	7.5	6.5-9.5
	Conductivité (mS/cm)	52.3	50.2	≤ 2000

V.4 2. 2 Eau d'*Ikopa*

L'évolution des paramètres de l'eau est identique à l'eau de *Fiherenana* (tableau 15). On voit une tendance des paramètres qui se ressemblent, c'est-à-dire que l'eau traitée avec des graines de *M. drouhardii* évolue peu. La turbidité de l'eau traitée par les graines de *M. drouhardii* dépasse la norme d'une unité. Ceci est expliqué par la forte turbidité de l'eau brute initiale qui est de 100 NTU. Toutefois, le rendement en fonction de l'abattement de la turbidité est satisfaisant.

V.4 3 Comparaison de l'efficacité de *M. drouhardii* et de *M. oleifera*

Les graines de *M. oleifera* sont un coagulant efficace pour des eaux dont la turbidité est comprise entre 5 et 200 NTU. Son efficacité dépend de la nature des éléments à flocculer, notamment de la nature des argiles. L'origine des arbres peut aussi faire varier cette efficacité. La composition chimique évolue peu (conductivité et pH à peu près constant).

Une étude a montré que la poudre de graine de *M. oleifera* pouvait être dosée à 200 mg/l. La turbidité d'une eau impure (turbidité de 1000 NTU) a pu être réduite à moins de 10 NTU par

coagulation/ sédimentation puis à moins de 1 NTU après un filtre à sable (FOLKARD et SUTHERLAND, 1992).

Les résultats varient suivant les doses et les paramètres initiaux de l'eau à traiter. En outre, les résultats varient d'une région à une autre et ceci mérite un approfondissement de la part des spécialistes du traitement des eaux.

Une autre étude sur l'utilisation d'un principe actif extrait de graine de *M. oleifera* a montré qu'une dose optimale de 1 à 1,2 g réduit la turbidité initiale de 403 NTU à 5.1 NTU avec les autres paramètres (pH, conductivité) qui restent inchangés (HERIHAJANI AVO, 2008). Par rapport à l'utilisation de poudre de graine de *M. drouhardii*, la dose est réduite de moitié, ce qui sous entend que le fait d'extraire le principe actif diminue la quantité de la dose à utiliser. Ce phénomène est expliqué par la richesse de l'extrait en substance coagulante.

V.5 Utilisation des graines pour le traitement des eaux usées

La dose de traitement de l'eau usée est de 200 mg/l de graines de *M. drouhardii*. Cette dose se base sur la dose utilisée pour l'eau de surface de turbidité initiale de 20 NTU et dont la dose optimale utilisée est de 200 mg/l. Les paramètres avant et après traitement de l'eau usée sont représentés (tableau 16).

Tableau 16 : Paramètres de l'eau traitée avec les graines de *M. drouhardii*.

Paramètres	Avant traitement	Après traitement
Couleur	Marron	Incolore
Turbidité (NTU)	22	10.5
pH	7.2	6.3
Conductivité (μ S/cm)	283	270

V.5 1 Analyses bactériologiques des graines de *M. drouhardii*

L'analyse a été effectuée sur l'eau de la rivière *Fiherenana* après une durée optimale de traitement (6 heures). Le but de cette analyse est d'apprécier le pouvoir antibactérien des graines de *M. drouhardii* (figure 24).

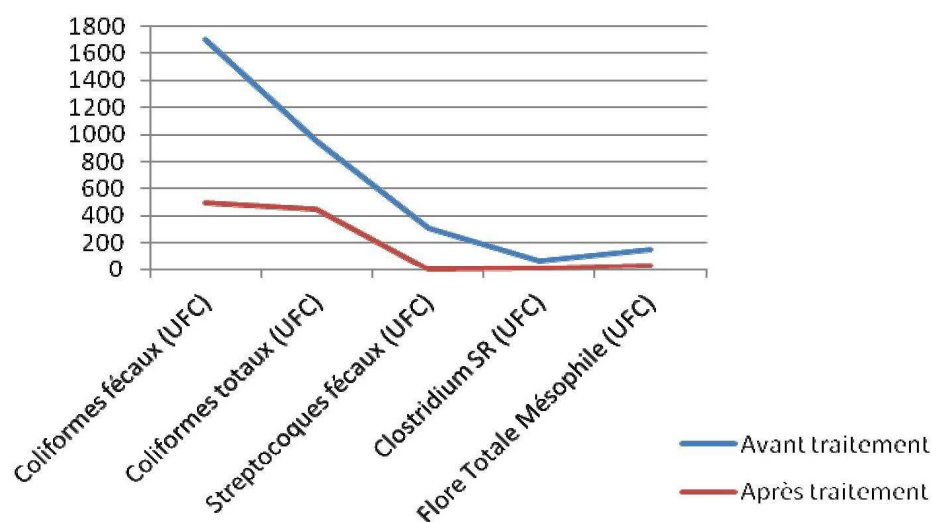


Figure 23 : Évolution de la charge bactérienne avant et après traitement. UFC : Unité formatrice de colonie par ml (en anglais : CFU-Colony Forming Unit per ml)

Sur les Coliformes fécaux, l'efficacité de traitement est de 71% et sur les coliformes totaux, l'efficacité est de 53%.

Alors que l'efficacité sur les Streptocoques fécaux est de 98%, l'efficacité sur le Clostridium SR est de 85% et l'efficacité sur la flore totale Mésophile est de 83%.

On constate une baisse de nombres de germes après le traitement au *M. drouhardii*. Ce phénomène s'explique de différentes façons. D'une part, l'effet antimicrobien du *M. drouhardii* viendrait de ses peptides. Ces peptides servent à lutter contre des microbes pathogènes et à contrôler les communautés commensales inoffensives. Jusqu'à aujourd'hui, ces peptides n'ont pas permis aux microbes de développer de véritables résistances. Pour ces raisons, les peptides antimicrobiens qui ciblent probablement la membrane cellulaire (simple changement de la perméabilité jusqu'à la rupture complète) seraient des substances intéressantes comme alternative aux antibiotiques classiques.

Un polypeptide a été identifié comme substance coagulante, avant qu'une activité antibactérienne ait été démontrée. L'activité coagulante de *M. drouhardii* peut révéler l'existence de ce polypeptide avec ses activités antimicrobiennes. Une étude a été menée pour vérifier l'effet antimicrobien des polypeptides sur une culture d'*Escherichia coli* et un peptide court a été mis en évidence ayant une forte activité antibactérienne (FLORIAN, 2004).

D'autre part, les graines de Moringacée sont souvent qualifiées de purificateur, ce qui laisse entendre qu'elles tuent les germes présents dans l'eau. Ce n'est pas le cas, en tout cas aux doses utilisées pour la floculation. Le principe même de la floculation diminue fortement le taux de germes car une grande majorité est éliminée avec les matières en suspension lorsque celles-ci

précipitent et sont séparées de l'eau claire. La baisse de turbidité constitue donc une purification partielle. Cependant, en l'absence de traitement ultérieur (chloration, traitement à l'ozone ou aux UV par exemple), les germes restants dans l'eau se multiplient rapidement et l'eau n'est pas potable.

L'intérêt des graines de *M. drouhardii* est donc de constituer un flocculant alternatif aux produits chimiques actuellement utilisés, mais pas de remplacer l'ensemble de la filière de traitement.

L'ambiguïté réside dans le fait que les graines de *Moringa*, comme d'autres parties de l'arbre, contiennent des composants bactéricides et fongicides relâchés par hydrolyse lors du broyage des graines. Les doses requises pour observer un effet stérilisant ne sont pas réalistes dans le cadre du traitement de l'eau, car elles impliquent un apport beaucoup trop important de matières organiques (la poudre de graines) qui souillent l'eau. Il faudrait donc isoler et purifier la molécule bactéricide et l'utiliser seule, ce qui n'est pas encore rentable par rapport aux autres traitements existants. En conclusion, les graines de *Moringa* sont beaucoup plus intéressantes comme flocculant que comme désinfectant, et les deux fonctions ne peuvent être obtenus en même temps (CHANTREL et DE SAINT SAUVEUR, 2001).

Les graines de *M. oleifera* semblent éliminer 50% des coliformes totaux et fécaux (71% pour les fécaux et 53% pour les totaux avec *M. drouhardii*) mais ont une action nettement plus faible sur les streptocoques, lors d'une étude de traitement des eaux de surface de turbidité initiale de 16.5 NTU et dont la dose optimale de *M. oleifera* est de 60mg/l. On peut en déduire que les deux espèces de *Moringa* ont le même effet sur les Coliformes totaux et fécaux.

V.6 Résultat sur l'analyse de tourteau

V.6 1 Teneur en protéine du tourteau

D'après le calcul, on a dans le tourteau N% = 5,97% qui correspond à l'azote total présent dans le principe actif de *M. oleifera*. Le pourcentage de protéines totales P% = 37,34% (tableau 17).

Tableau 17 : Teneurs moyennes en protéines (%) du tourteau calculées sur deux essais

Pourcentage de protéines	1	2	Moyenne
Vol H SO (ml) 2 4	21,2	21,5	21,35
N%	5,93	6,02	5,97
P%	37,06	37,62	37,34

V.6 2 Résultat sur la teneur en eau, cendre brute, cellulose

Le tourteau de *M. drouhardii* a une teneur en protéine importante mais beaucoup plus faible que d'autres oléagineux (tableau 18).

Tableau 18 : Comparaison de différents tourteaux dont celui de *M. drouhardii*

Composition	Tourteaux			
	Arachide	Soja	Tournesol	<i>M. drouhardii</i>
Protéines	60	46	28	18,12
Cendre	4	5	6	4,15
Cellulose	6	5	25	9
Teneur en eau	8	10	11	6,4

V.7 Analyses de la toxicité du tourteau

Aucune souris qui a subi les injections n'est morte et n'a manifesté un symptôme particulier. Toutes les souris sont restées en bonne santé. On peut dire alors que le tourteau n'est pas toxique et il peut être utilisé comme complément de l'alimentation des bétails même si les amandes utilisées dans nos essais sont amères, suggérant que ce goût amer n'est pas un frein à l'utilisation dans ce domaine.

Tableau 19: Résultat de la toxicité du tourteau de *M. drouhardii* (M :Mâle :Femelle.)

Poids des souris (g)	Sexe	Extrait injecté	Volume injecté (ml)	Symptôme observé	Mortalité
26	F	Brut	0,31	aucun	aucune
22	F		0,26		
18	M		0,21		
23	M		0,27		
24	F	Traité à la chaleur	0,28	aucun	aucune
23	F		0,27		
19	M		0,22		
21	M	Traité à l'éthanol	0,25	aucun	aucune
25	F		0,3		
21	F		0,25		
25	M		0,3		
22	M		0,26		

DISCUSSION

Comme dans tous les pays pauvres du monde, le problème de l'eau potable est posé à Madagascar. Une majorité de la population ne bénéficie pas d'une source d'eau potable. Des actions concrètes et la mise en place d'un cadre légal régissant tous les acteurs devrait dans l'avenir favoriser le secteur de l'eau potable et redresser la situation actuelle. La floculation à dose optimale permet d'obtenir une diminution de la turbidité. L'effet bactériologique sur l'eau est vérifié mais cet effet n'est pas total car la dose optimale de coagulant est insuffisante pour une réduction totale de la charge bactérienne.

Si les potentialités de la graine sont vérifiées, le reste du travail consiste à donner une possibilité d'utilisation de la graine tout en considérant les aspects qui devront être pris en compte pour recommander des études ultérieures. Un des objectifs est d'avoir des protéines brutes non dénaturées dans le tourteau. Pour cela, il faudrait que notre extraction soit effectuée à froid ou à la plus faible température possible. La meilleure méthode d'extraction pour qu'il n'y ait pas de dénaturation de protéine est la méthode par pression suivie d'une extraction par solvant.

La majorité des familles rurales vivent de l'agriculture. Les contextes locaux pour l'usage de cette technique y sont favorables. D'une part, l'approvisionnement en graine ne devra pas constituer un problème car il suffit de cultiver l'arbre. Dans la ville de Tuléar, les graines sont nombreuses : on peut observer 20 gousses dans une seule grappe. Près de Saint-Augustin, une grappe ne donne que 2 à 3 gousses. Ceci est dû à l'action des insectes des agents pollinisateurs de type jouent un rôle primordial dans le transport des grains de pollen. Le besoin en quantité d'eau potable est moins important à la campagne comparé au besoin de la population urbaine.

Toutes mesures et techniques pouvant redresser cette situation devraient être mises en œuvre. L'emploi de graine de *M. drouhardii* peut être pris en compte parmi les luttres contre la mauvaise qualité de l'eau.

L'utilisation en milieu rural ne nécessite ni un investissement important ni une technique difficile à appliquer. On peut suggérer l'utilisation d'un fut ou d'un seau plastique facile à désinfecter. Le système de brassage du flocculateur est simple par l'emploi d'un bâton ou autre objet pouvant remuer l'eau à traiter. Le prétraitement des graines, l'emploi des petits mortiers et de tamis de cuisine pourront aider à la mise en place d'une technique adaptée à la réalité locale.

Enfin, il faut aussi parler des facteurs de nature socioculturelle. On sait par exemple que le recours à l'utilisation des produits naturels est un phénomène d'actualité ce qui pourrait à l'avenir favoriser l'emploi de ce produit au traitement de l'eau. Par contre, nos informations ont permis de savoir que l'arbre de *M. drouhardii* est sacré dans la région Sud de Madagascar.

Le croisement entre *M. oleifera* et *M. drouhardii* n'a pas abouti. Le croisement réciproque *M. oleifera* mâle sur *M. drouhardii* femelle donne encore moins de descendance viables. Les autofécondations n'ont pas donné de meilleurs résultats. Les facteurs climatiques font parties des causes d'échec (vent, pluie, lumière...). *M. oleifera* a 28 chromosomes (MENDIORO et al. 2005) mais on ne connaît pas le nombre de chromosome de *M. drouhardii*.

L'hypothèse que deux espèces très éloignées géographiquement (allopatriques), depuis la séparation de l'Inde de Madagascar, pourraient avoir perdu des allèles d'incompatibilité favorisant l'hybridation ne s'est pas vérifiée. Le nombre de fleurs castrées et fécondées par de l'allopollen est insuffisant pour conclure définitivement. Néanmoins, ces premiers essais ont permis de voir quel est le sens du croisement qui a le plus de chance de donner des hybrides interspécifiques (*M. drouhardii* mâle sur *M. oleifera* femelle ou pollen de *M. drouhardii* sur stigmates de *M. oleifera*).

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

VII.1 Vérification des hypothèses

Parmi les six hypothèses au départ de l'étude, cinq ont été confirmées :

VII.1 1 Hypothèse 1

La première hypothèse est rejetée car il existe des pieds de *M. drouhardii* à l'état sauvage, comme dans le flanc de Bina. En effet, ils sont proches de tombeaux mais quelques paysans affirment que ce *Moringa* était présent avant la construction des tombeaux. On peut les voir aussi dans la réserve d'Amoron'Onilahy. Ceci a été confirmé par l'enquête auprès des gens qui vivent non loin de cet endroit.

Par contre, pour *M. hildebrandtii*, on peut admettre l'hypothèse car nous n'avons ni recensé, ni trouvé cette plante à l'état sauvage dans notre zone d'étude (le Sud du Mangoky).

VII.1 2 Hypothèse 2

L'hypothèse 2 était : *M. drouhardii* et *M. hildebrandtii* présentent de multiples services pour les paysans.

D'après l'enquête, plusieurs paysans n'iraient plus aux Centres de Santé de Base II à cause de leur éloignement mais aussi à cause du prix des médicaments. Alors ils se contentent d'utiliser des plantes médicinales pour lutter contre les maladies. Les deux espèces de *Moringa* malgache font parties de ces plantes médicinales. En plus, si une sensibilisation est faite, l'utilisation de ces espèces ne sera pas limitée à utiliser les *Moringa* comme plantes médicinales car il y a aussi l'huile et la clarification de l'eau turbide.

VII.1 3 Hypothèse 3

L'hypothèse 3 était : l'hybridation entre *M. oleifera* et *M. drouhardii* est possible et aboutit à un nouvel individu.

L'hybridation entre ces deux espèces est possible dans la Nature car actuellement ces espèces sont sympatriques. La période de floraison est dans la même saison, et même la fécondation a eu lieu mais les nouvelles gousses n'arrive pas à résister peut être ils ne résistent pas aux divers facteurs climatiques. Dans ce cas on peut avoir un hybride entre ces deux espèces mais dans un endroit fermé (hybridation in situ).

VII.1 4 Hypothèse 4

L'hypothèse 4 était : la qualité d'huile obtenue à partir des graines de *Moringa* a des qualités exceptionnelles en termes de composition chimique.

La quatrième hypothèse est confirmée. Les résultats obtenus sur la densité de l'indice d'iode montrent que l'huile de *M. drouhardii* appartient à la classification des huiles non siccatives. En

plus, la valeur de l'indice d'iode est significativement faible, c'est-à-dire que le degré d'insaturation de l'huile est assez faible et plus facilement saponifiable. Tout cela implique que la qualité de l'huile obtenue est exceptionnelle.

VII.1 5 Hypothèse 5

L'hypothèse 5 était : l'eau purifiée à l'aide des amandes des graines de *Moringa* suit la norme de l'OMS.

Elle est confirmée car la turbidité, le pH obtenu après le traitement de poudre d'amande de *M. drouhardii* est voisine à la turbidité et le pH de la norme OMS.

VII.1 6 Hypothèse 6

L'hypothèse 6 était : l'huile de *M. drouhardii* est consommable.

Elle est confirmée : tous les souris cobayes sont restées vivantes après avoir été nourries d'huile de *M. drouhardii*. Donc, elle n'est pas toxique.

De nombreuses recherches ont été menées sur l'extraction de l'huile de *M. oleifera* ainsi que sur ses caractéristiques physico-chimiques mais pas sur l'huile des graines de *M. drouhardii*. Cela nous a conduit à étudier l'huile de cette espèce malgache.

La détermination des caractéristiques des huiles est importante et pour avoir des résultats valables, nous avons utilisé deux méthodes d'extraction par pression et par solvant, afin d'obtenir deux échantillons différents à analyser.

L'étude expérimentale des caractéristiques principales de l'huile de *M. drouhardii* montre que l'huile possède une composition particulière mais d'aussi bonne qualité que d'autres huiles. Elle est consommable en tant qu'huile de friture et huile de table. Grâce aux teneurs importantes en protéine du tourteau et son non toxicité, elle est intéressante pour la filière élevage et accessoirement pour le traitement des eaux troubles.

La teneur en lipide et en protéine des graines de *M. drouhardii* est supérieure à celle de *M. oleifera*. Une valorisation des protéines est intéressante en isolant les protéines des graines de *M. drouhardii* en les incorporant dans les aliments pauvres en protéines.

L'eau reste un défi important pour Madagascar. La nécessité de mettre en place une technologie adaptée pour le traitement offre alors une opportunité considérable pour faire face à la situation actuelle. L'utilisation du coagulant naturel contenu dans l'amande de la graine de *M. drouhardii* est l'une des potentialités qui s'est avérée intéressante pour faciliter le traitement des eaux chargées d'impuretés. Les effets sur l'élimination de ces impuretés et la réduction des charges bactériennes sont concluants. Néanmoins, la désinfection demeure indispensable pour une

meilleure qualité bactériologique de l'eau. Cette qualité a été prouvée pour l'eau brute de turbidité élevée mais cela n'empêche pas son utilisation à d'autres types d'eau de turbidité moins importante. Bref, les potentialités de la graine de *M. drouhardii* pour le traitement des eaux est prometteur et méritent d'être exploitées davantage. Son utilisation à l'échelle familiale est intéressante mais son utilisation à l'échelle industrielle nécessite des études plus approfondies.

VII.2 Recommandations

Cette étude est une phase préliminaire qui mérite d'être disséminée surtout dans le milieu rural pour l'amélioration de son niveau de vie.

- Il faut sensibiliser la population à l'importance de *Moringa* indienne et surtout les *Moringa* malgaches. Une formation spécifique devrait être faite dans les écoles agronomiques pour former des techniciens spécialisés. Ils encadreraient efficacement les paysans sur les techniques de plantation de *Moringa*, ainsi que l'extraction d'huile.
- Inciter la population surtout dans le milieu rural d'utiliser l'amande de *Moringa* pour purifier l'eau. Et c'est nécessaire d'intégrer la méthode de purification au niveau du primaire car ceci ne demande un énorme investissement et c'est praticable.
- Il est nécessaires d'encourager les paysans et les convaincre que cette plante présente une forte valeur économique (plantes médicinales, huile) mais en tenant compte le respect de tabous.
- Il faut privilégier les plantes alimentaires comme *M. oleifera*.

Renforcer les paysans en plantation et inciter les gens de faire de l'apiculture car cette espèce est une plante mellifère. La qualité de miel obtenu à partir de *Moringa* est peut être excellente. C'est une recherche qui mérite d'être approfondie.

En ce qui concerne l'écologie, on peut dire que *M. drouhardii* préfère les conditions climatiques et édaphiques spécifiques du Sud de Madagascar, notamment des sols calcaires, avec quelques fois une précipitation annuelle inférieure à 200 mm. Sa facilité de régénération sur les sols alluvionnaires est néanmoins remarquable. Une place importante concerne son rôle dans l'écosystème forestier. Les études ont montré que *M. drouhardii* est un habitat important pour certaines espèces animales endémiques comme le reptile *katsiaka* (*Pheulsuma mandigii*).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

VIII. Références bibliographiques

- BABAREZOTO S.F.** 2010. Contribution à l'évaluation des espèces floristiques menacées et l'élaboration d'un plan de sauvegarde (forêt de l'Amoron'Onilahy)(cas de la forêt d'Amoron'Onilahy à Mahaleotse). Mémoire de Licence professionnelle en Biodiversité et Environnement .Université de Toliara. 43 p.
- BATTISTINI R., HOERNER J.M.** 1986. Géographie de Madagascar, EDICEF & SEDES, France, 187 p.
- BENNETT R.N. et al.** 2003. Profiling glucosinolates and phenolics in vegetative and reproductive tissues of the multi-purpose trees *Moringa oleifera* L. (Horseradish tree) and *Moringa stenopetala* L. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 3546–3553.
- BESAIRIE H.** 1972. Géologie de Madagascar, tome I – Les terrains sédimentaires –Annales géologiques de Madagascar, Fascicule n°XXXV, Imprimerie Nationale, Tananarive, 463 pages plus planches.
- CASTILLON JB, CASTILLON JP.** 2007. The recent discovery of the first wild population of *Moringa hildebrandtii* (Moringaceae) in Madagascar. CactusWorld 25: 37-41.
- CHANTREL E., DE SAINT SAUVEUR A.** 2001. Techniques de clarification avec *Moringa* à différentes échelles. PROPAGE. 10 p.
- CNEA/UNICEF.** 1997. Rapport sur la situation de l'alimentation en eau potable et assainissement à Madagascar. 10. 3-5.
- DELAVEAU P., BOITEAU P.** 1980. " Huiles à intérêt pharmacologique, cosmétologique et diététique ": IV - Huiles de *Moringa oleifera* Lamark et de *Moringa drouhardii* Jumelle. Plantes médicinales et Phytothérapie,
- DUFOURNET R.** 1972. Régimes thermiques et pluviométriques des différents domaines climatiques de Madagascar. Madagascar Revue de Géographie 20 : 25-118.
- EMILIE C., de SAINT SAUVEUR A.** 2001. Caractéristiques du *Moringa* pour le traitement des eaux. PROPAGE.
- FLORIAN F.** 2004. Antibacterial peptide from the tropical tree *Moringa oleifera*: A template for novel antibacterial agents. Université de Lausanne Institut de Biotechnologie Centre de Biotechnologie UNIL-EPFL. Département de Chimie EPFL.
- FOLKARD G., SUTHERLAND J.** 1992. Development of robust water treatment systems incorporating natural coagulants. Field study report, January-March 1992, 16 p.
- FORMAD ENVIRONNEMENT.** 2011. *Moringa* sp. (Néverdier). 35 p.

- FRISTSCH.** 1931. " Fabrication et raffinage des huiles végétales ", 4^{ème} édition, Paris, 53p
- GENTRY A.H.** 1993. Diversity and floristic composition of lowland tropical forest in Africa and South America. In: Biological relationships between Africa and South America. Goldblatt. P. L. (ed.). Yale University Press. New Haven.
- HERHAJANI A.M.** 2008. Contribution a la clarification de l'eau brute avec un principe actif extrait de graine de *Moringa oleifera*. Mémoire de fin d'études (D.E.A.). Département Génie Chimique. ESPA.
- HUMBERT H.** 1955. Les territoires phytogéographiques de Madagascar. In colloques internationaux du CNRS. LIX : Les divisions écologiques du monde, moyen d'expression, nomenclature, cartographie, Paris, juin-juillet 1954. Année Biologique série 3, 31 (5-6) : 439-448.
- HUMBERT H.** 1955. Les territoires phytogéographiques de Madagascar. Leur cartographie. Colloque sur les régions écologiques du Globe, Paris 1954. Annale Biologique 3^{ème} série 31: 195-204.
- JAHN S.A.A.** 1986. Proper use of African natural coagulants for rural water supplies: Research in the Sudan and a guide for new projects. GTZ, Eschborn, Germany. 541 p.
- KERAUDREN-AYMONIN M., 1968** " Les *Moringaceae* " flore de Madagascar et des Comores. 28-29 :41
- KOECHLIN J., GUILLAUMET J.L., MORAT P.** 1974. Contribution a la définition de type de végétation dans les régions tropicales (Exemple de Madagascar). Candollea 26(2). 263-277.
- MAHATANTE P.** 2009. Étude d'impact environnemental et social pour la création de l'AP « Tsinjoriaky – Ala Mando – Manankasy d'Andatabo à St Augustin, Toliara, Sud Ouest de Madagascar ». 37 p.
- MAHAZOTAHY S.** 2006. Étude de variation de la formation végétale dans le parc National de Tsimanampesotse et intérêt de son extension. Mémoire de DEA en Biodiversité et environnement, Université de Toliara. 65 p.
- MENDIORO M.S., DIAZ M.G.Q., ALCANTARA M.T.H.B., HILARIO O.J., MATEO P., MAGHIRANG R.D.M.** 2005. Cytological Studies of Selected Medicinal Plants: *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotz., *Moringa oleifera* Lam., *Catharanthus roseus* (L.) Don., and *Chrysanthemum indicum* Linn. Philippine Journal of Science 134 (1): 31-37.
- MULUVI G.M., SPRENT J., ODEE D., POWELL W.** 2004. Estimates of outcrossing rates in *Moringa oleifera* using Amplified fragment length polymorphism (AFLP). 9th Biochemical Society of Kenya Annual Symposium. African Journal of Biotechnology 3 (2): 146-151.

- NORME AFNOR.** 1993. Corps gras, graines oléagineux et produit dérivés, recueil de normes Français, 5ème édition.
- OLSON M.E.** 2001. Wood and bark anatomy in *Moringa* (Moringaceae), *Haseltonia* 8: 85-121.
- OLSON M.E.** 2002. Combining data from DNA sequences and morphology for a phylogeny of Moringaceae (Brassicales). *Systematic Botany* 27(1): 55–73.
- OLSON M.E., CARLQUIST S.** 2001. Stem and root anatomical correlations with life form diversity, ecology and systematics in *Moringa* (Moringaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 135: 315–348.
- OLSON M.E., RAZAFIMANDIMBISON S.** 2000. *Moringa hildebrandtii* (Moringaceae): A tree extinct in the wild but preserved by ingenious horticultural practices in Madagascar. *Adansonia sér.* 3 22 (2): 217-221.
- PERRIER DE LA BATHIE H.** 1936. Biographie des Plantes de Madagascar. Édité par Géo. Mar. et Col. (Paris). 156 p.
- RAONINJATOVOHERIVONJY, H.** –1997 - Approche écologique sur l'évaluation des impacts anthropiques dans les lots forestiers de Betsako / Ankazoabo-Sud , Mémoire de D.E.A, Option Ecologie végétales – Université d'Antananarivo.-108p
- RAHARINIRINA TOLOJANAHARY L.N.** 2009. Contribution à l'élaboration de modèles de restauration de la formation végétale de l'aire protégée communautaire Andatabo- St Augustin. DEA en Biodiversité et Environnement, option biologie végétale. Université de Toliara. 87 p.
- RAJAONARIVELO S.** 2000. Exploitation du milieu forestier et pratique paysanne. Le cas de l'activité charbonnière dans le fourré xérophile de la région côtière d'Ifaty (Sud Ouest Malgache). Mémoire de Maîtrise en Géographie. Université de Tuléar. 115 p.
- RAJERY R.** 2003. Essai de valorisation des graines de *Moringa drouhardii* pour le traitement des eaux potables. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en industrie agricole et alimentaire, ESSA, Université d'Antananarivo.
- RAKOTOMALAZA P.J., MCKNIGHT M.** 2004. Étude de la variation de la structure et la composition floristique de la forêt Mikea du Sud-Ouest de Madagascar. *Phelsuma* 14: 13-36.
- RAKOTOMALAZA P.J., MESSMER N.** 1999. A study of structural and floristic composition of the vegetation of the reserve naturally integral d'Andohahela, Madagascar. In: A floral and faunal inventory of the reserve naturally d'Andohahela, Madagascar: with reference to elevation variation. Goodman S.M. (ed.). *Fieldiana: Zoologie, new serie.* Pp.51-72.

RAKOTONIRAKA, 1976" Contribution à l'étude de raffinage de l'huile de coprah cas du T.O.P "Mémoire de fin d'études pour obtention du diplôme d'ingénieur en industrie agricole et Alimentaire ,ESSA,Université d'Antananarivo

RANDRIANOELINA J., RATSIMBARIMANANA P. 1994. Extraction d'huile de *Moringa oleifera* à partir des graines. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en Génie Chimique ESPA.

RATAHIANJANAHARY. 1998. Contribution à l'étude de la qualité des eaux dans la zone d'action de l'AES, cas de traitement et centres d'adduction d'eau potable pendant la saison pluvieuse. Mémoire de fin d'études. Département IAA. ESSA.

RATSIFEHERA A. 2004. Étude de la fraction lipidique des graines de *Moringa oleifera*, de la région de Tamatave et conception d'une technologie semi- industrielle d'extraction d'huile. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en industrie agricole et alimentaire. ESSA. Université d'Antananarivo.

RODINE C. 2005. Contribution à l'étude des variations phytosociologiques et floristiques longitudinales et latitudinales de la végétation de la partie Sud de la forêt des MIKEA. Mémoire de DEA en Biodiversité et Environnement. Université de Toliara. 67 p.

RONSE DECRAENE L.P., DE LAET J., SMETS E.F. 1998. Floral Development and Anatomy of *Moringa oleifera* (Moringaceae): What is the Evidence for a Capparalean or Sapindalean Affinity and Annals of Botany 82: 273-284.

SAINT SAUVEUR de A. 1997. Le *Moringa oleifera* au Niger et en Inde ou quand les agriculteurs préfèrent planter des arbres. Le Flamboyant 43 : 16-23.

SCHABEL H.G. 2004. *Moringa oleifera* Lam. In: Vosso, J.A. (Ed). Tropical tree seed manual. <http://www.rngr.net/Reforestation/Publications/TTSM>.

systems incorporating natural coagulants. Field study report. January-March 1992. 16 pp. longitudinale et latitudinales de la végétation de la partie Sud de la forêt des Mikea.

USDA. 2003. USDA national nutrient database for standard reference, release 16. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory, Beltsville Md, United States. <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp>.

WHITE. 1983. The vegetation of Africa, a descriptive memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/~UNSO vegetation map of Africa-[UNESCO-National Resources

WOLF J.P. 1968. Manuel d'analyse des corps gras. Paris, Azoulay.

IX Sitographie

<http://www.mobot.org/gradstudents/olson/moringahome.html>

[http://www.wikipedia.org/wiki/Moringa hildebrandtii](http://www.wikipedia.org/wiki/Moringa_hildebrandtii)).

<http://www.formad-environnement.org>

<http://www.cactuspro.com/encyclo/Moringa>

<http://www.worldvision.com.au/getinvolved/safewaterguide/files/Madagascar>. Normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

[http:// www.treesforlife.org/project/moringa](http://www.treesforlife.org/project/moringa).

[http: // fr.wikipedia.org/wiki/hybride](http://fr.wikipedia.org/wiki/hybride). Titre : hybride- wikipédia.

<http://www.hemerocallia.com/hybridation.html>. Titre : hybridation-pollinisation.

<http://www.mobot.org/gradstudents/olson/moringahome.html>

<http://www.cactuspro.com/encyclo/Moringa/drouhardii>

<http://www.moringanews.org>

[http:// www.sequence-genetique.org](http://www.sequence-genetique.org)

[http://www.wikipedia.org/wiki/Moringa Drouhardii](http://www.wikipedia.org/wiki/Moringa_Drouhardii).

Table des matières

I. Introduction	1
I.1 Problématique.....	2
I. 2 Choix du thème	2
I. 3 Objectifs de l'étude	3
I. 4 Hypothèses	3
II. Le milieu naturel.....	5
II. 1 L'aire protégée d'Andatabo – Saint Augustin.....	5
II. 2 Réserve d'Amorin'Onilahy.....	5
II. 3 Climat.....	6
II. 4 Pédologie.....	7
II. 5 La végétation.....	7
III. Les différentes espèces de <i>Moringa</i>	8
III. 1 <i>Moringa drouhardii</i>	9
III. 1. 1 Origine	9
III. 1. 2 Caractéristiques	9
III. 1. 3 Morphologie de la plante	10
III. 1. 4 Intérêt	12
III. 2 <i>Moringa hildebrandtii</i> Engler.....	13
III. 2. 1 Description.....	13
III. 3 <i>Moringa oleifera</i>	14
III. 3. 1 Description.....	16
III. 3. 2 Multiplication et plantation.....	17
III. 3. 3 Ressources génétiques et sélection	18
IV. Méthodes	20
IV. 1 Recherches bibliographiques	20
IV. 2 Enquêtes	20
IV.2. 1 Enquêtes socio-économiques	20
IV. 2. 2 Enquêtes ethnobotaniques.....	20
IV. 2. 3 L'inventaire des populations sauvages de l'espèce <i>M.drouhardii</i>	20
IV. 3 Essais d'hybridation.....	22
IV.3. 1 Matériels utilisés	22
IV.4. 2 Étapes	23
IV.4. 3 Test d'autofécondité	24
IV.3. 4 Test d'allofécondité	25
IV.3. 5 Les hybridations interspécifiques.....	26
IV. 4 Extraction de l'huile de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	27
IV.4 1 Préparation des échantillons.....	27
IV.4 1. 1 Nettoyage et triage des graines.....	27
IV.4 1. 2 Séchage des graines.....	27
IV.4 1. 3 Décorticage et broyage	27

IV.4 1. 4 Chauffage ou conditionnement thermique	29
IV.4. 1 Extraction	29
IV.4. 1. 1 Extraction par pression	29
IV.4. 1. 2 Extraction par solvant	30
IV.4. 2 Le raffinage	30
IV.4. 2. 1 But de raffinage	30
IV.4. 2. 2 Les différentes étapes de raffinages	31
IV.5 Caractéristiques physiques de l'huile	31
IV.5 1 Densité de l'huile	31
IV.6 Caractéristiques chimiques de l'huile	31
IV.6 1 Indice d'iode (I.I.)	31
IV.6 2 Indice de saponification (I.S.)	32
IV.6 2 Indice d'acide (I.A.)	33
IV. 7 Clarification de l'eau polluée	33
IV.7 1 Échantillonnage et méthodes de caractérisation	33
IV.7 1. 1 Échantillonnage des eaux brutes et prélèvements	33
IV.7 1. 2 Méthodes d'expérimentation	33
IV.7 1. 3 Analyses des graines et essai de floculation	34
IV.7 1. 4 Analyse des eaux	34
IV.7 1. 4 L'analyse bactériologique	35
IV. 8 Analyse des tourteaux	35
IV. 8 1 Analyses chimiques du tourteau	35
IV.8 1. 1 Teneur en eau et matières volatiles	35
IV.8 1. 2 Teneur en cendres brutes	35
IV.8 1. 3 La teneur en cellulose	35
IV.8 1. 4 Teneur en protéine	36
IV. 8 2 Test toxicologique du tourteau de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	36
IV. 8 2. 1 Extraction des principes actifs	36
IV. 8 2. 2 Purification des principes actifs	37
IV. 8 2. 2 Test de toxicité sur des animaux	37
V. Résultats des enquêtes dans les trois sites	39
V.1 Floraison et fructification	41
V.1 1 Chez <i>M. drouhardii</i>	41
V.1 1. 1 Gousses	41
V.1 1. 2 Les graines	42
V.1 2 Chez <i>M. hildebrandtii</i>	43
V.1 2. 1 Gousses	44
V.1 2. 2 Les graines	43
V.2 Résultats des essais d'hybridation	43
V.2 1 Test d'autogamie	43
V.2 2 Test d'allofécondité	44
V.2 3 Hybridations	46
V.2 4 Analyse et suivi du développement des gousses hybrides	45
V.3 Résultat de l'extraction de l'huile de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	46
V.3 1 Résultat de l'extraction de l'huile par pression	46
V.3 2 Extraction par solvant	47

V.3 3 Extraction par pression à froid puis extraction du tourteau par solvant	47
V.3 4 Caractéristiques physiques de l'huile des graines de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	48
V.3 4 1 Description des caractères organoleptiques de l'huile	48
V.3 4 2 Résultats et interprétation	48
V.4 Clarification de l'eau avec des graines de l'espèce <i>M. drouhardii</i> comme coagulant.....	49
V.4 1 La dose optimale de traitement.....	49
V.4 1. 1 Avec l'eau de la rivière Fiheranana	49
V.4 1. 2 L'eau d'Ikopa	50
V.4 2 L'évolution des paramètres physiques.....	50
V.4 2. 1 Eau de Fiheranana.....	51
V.4 2. 2 Eau d'Ikopa.....	51
V.4 3 Comparaison de l'efficacité de l'espèce <i>M. drouhardii</i> et de l'espèce <i>M. oleifera</i>	51
V.5 Utilisation des graines pour le traitement des eaux usées	52
V.5.1 Analyses bactériologiques des graines de l'espèce <i>M. drouhardii</i>	52
V.6 Résultat sur l'analyse de tourteau.....	54
V.6 1 Teneur en protéine du tourteau	54
V.6 2 Résultat sur la teneur en eau, cendre brute, cellulose.....	55
V.7 Analyses de la toxicité du tourteau.....	55
VI Discussion	57
VII.1 Vérification des hypothèses	60
VII.1 1 Hypothèse 1	60
VII.1 2 Hypothèse 2	60
VII.1 3 Hypothèse 3	60
VII.1 4 Hypothèse 4	60
VII.1 5 Hypothèse 5	61
VII.1 6 Hypothèse 6	61
VII.2 Recommandations.....	62
VIII. Références bibliographiques	64
IX Sitographie	68