

Economic and ecological models of ethanol and bioethanol production units from taro, starchy plants of the variety *Colocasia esculenta* and yam or oviale of the variety *Dioscorea Alata*: case of the district of northern Befandriana.

Intitulé : Modèles économique et écologique d'unité de production d'éthanol et de bioéthanol à partir du taro, plantes amylacées de variété *Colocasia esculenta* et de l'igname ou *oviale* de variété *Dioscorea Alata* : cas du district de Befandriana nord.

**ANDRIANANTENAINA Jocel¹, RAKOTOBÉ Emilien², ZARAMANANA Estelle³, LEHIMENA Eliana⁴,
RASOAMANJAKA Sidonic⁵, RAJESITERA Fabian⁶, RASOLONJATOVO Martial Zozime⁷,
RASOANANDRASANA Emilienne⁸**

Résumé

L'objectif de ce travail de recherche est d'élaborer un modèle économique et écologique, viable d'unité de production de bioéthanol des petits producteurs d'éthanol à partir des deux plantes amylacées : l'igname ou *oviale* en malgache, de la famille *Dioscorea alata* et le taro ou *saonjo dia*, de la famille des Aracées. La canne à sucre cultivée dans les *baiboho* est la plus utilisée par ces petits exploitants pour la production d'éthanol et de sucre dans le district de Befandriana nord. A cause des aléas climatiques (sécheresse, faible pluviométrie), le rendement de culture de canne à sucre diminue au fil des années et n'atteint plus le rendement espéré et évidemment la satisfaction de leur besoin annuel. L'idée d'utiliser les plantes amylacées de variétés *Colocasia esculenta* et *Dioscorea Alata* à la place de la canne à sucre a été envisagée. Ces deux plantes sont abondantes dans la région Sofia en l'occurrence dans le district de Befandriana Nord. Elles sont utilisées comme aliment de substitution en période de soudure. A cause de leur richesse en amidon, elles répondent aux critères de production de bioéthanol. Ce travail de recherche consiste à transformer les tubercules de l'igname ou de taro en éthanol puis en bioéthanol moyennant respectivement la technologie de l'hydrolyse enzymatique, la distillation et la rectification.

Selon la monographie de la Région Sofia, le district de Befandriana a une superficie totale de 9121 km² soit 912 100 ha dont 63 140 ha (6,9% de la surface totale) de superficie cultivable potentiellement, pouvant être exploitées dans ce sens et 32 168 ha (48% surface cultivable) de superficie effectivement cultivée. La descente au niveau du district a permis de faire une investigation respectivement sur l'utilisation locale de ces tubercules, la détermination du rendement cultural du taro et de l'igname auprès des planteurs en saison sèche, l'évaluation de la perte en sol pendant la récolte par la Méthode Universal soil loss Equation ou USLE Wischmeier moyennant un protocole bien défini. Les travaux de laboratoire ont permis de déterminer respectivement le pourcentage en masse de l'amidon, de l'éthanol après distillation et du bioéthanol après rectification par rapport à une masse de tubercule bien définie.

Les résultats de ces investigations ont permis de confirmer que : primo, le rendement cultural moyen en Taro et en Igname est respectivement de 3 et 4 t/ha/an, ce qui est très bas par rapport au rendement au niveau mondial de l'ordre respectif de 5 à 8 t/ha/an. Actuellement, 800 ménages du district correspondant à 1,29% des ménages possèdent en moyenne 0,5 ha de plantation de taro. L'igname est une plante sauvage et pousse sur la pente et récoltée pendant la saison sèche. Cette récolte en pente crée une perte en sol de 0,2 t/ha en moyenne selon notre investigation.

La transformation d'1 kg de tubercule de Taro a permis d'obtenir 0,2 kg d'amidon. Par contre, on peut obtenir 0,411 litre d'éthanol par kg d'amidon. Ainsi, la transformation de deux échantillons identiques de 8000 g de tubercules de taro et d'igname en éthanol et en bioéthanol dans les mêmes conditions au laboratoire du Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) a permis d'obtenir par distillation un volume d'éthanol respectif de 6228 ml pour le taro contre 6083 ml pour l'igname. Le rendement de transformation de l'éthanol en bioéthanol est de l'ordre de 77,5% pour le degré alcoolique compris entre 82°GL et 92°GL. Le reste a un degré alcoolique variant de 65°GL à 72°GL, soit 22,45%.

L'application de modèle économique, écologique et viable d'unité de production d'éthanol et de bioéthanol élaboré au profit des petits producteurs d'éthanol demande un investissement initial de 3406140 MGA et d'un octroi de 2 ha de terrain de culture de Taro ou d'igname pour les 800 ménages producteurs d'éthanol. Son adoption

auprès des petits exploitants permettra d'avoir un Taux de Rentabilité Interne (TRI) de 28,6%, d'un Indice de Profitabilité (Ip) de 1,25 et de la Durée de Retour du Capital Investi (DRCI) de 5 mois et 23 jours.

Mots clés : plantes amylacées, *Colocasia esculenta*, *Dioscorea Alata*, hydrolyse enzymatique, bioéthanol, modèle économique, écologique

Abstract

The aim of this research project is to develop a viable economic and ecological model for a bioethanol production unit for small-scale ethanol producers, using two starchy plants: yam or *oviala* in Malagasy, from the *Dioscorea alata* family, and taro or *saonjo dia*, from the *Araceae* family. Sugar cane grown on baiboho is the most widely used by these smallholders for ethanol and sugar production in the northern Befandriana district. Due to the vagaries of the climate (drought, low rainfall), sugarcane yields have been falling over the years, and no longer meet their annual requirements. The idea of using starch crops of the *Colocasia esculenta* and *Dioscorea Alata* varieties instead of sugarcane was considered. These two plants are abundant in the Sofia region, in particular in the Befandriana Nord district. They are used as a substitute food during the lean season. Because of their high starch content, they meet the criteria for bioethanol production. The aim of this research project is to transform yam and taro tubers into ethanol and then into bioethanol, using enzymatic hydrolysis, distillation and rectification technologies respectively.

According to the Sofia Region monograph, the Befandriana district has a total surface area of 9121 km² or 912,100 ha, of which 63,140 ha (6.9% of the total surface area) is potentially cultivable, and 32,168 ha (48% of the cultivable surface area) is actually cultivated. The visit to the district level enabled us to investigate the local use of these tubers, to determine the crop yields of taro and yam among dry-season planters, and to assess soil loss during harvesting using the Universal soil loss Equation or USLE Wischmeier method, based on a well-defined protocol. Laboratory work enabled us to determine the percentage by mass of starch, ethanol after distillation and bioethanol after rectification, respectively, in relation to a well-defined tuber mass.

The results of these investigations confirmed that: firstly, average crop yields for taro and yam are 3 and 4 t/ha/year respectively, which is very low compared with world yields of 5 to 8 t/ha/year respectively. Currently, 800 households in the district, corresponding to 1.29% of households, own an average of 0.5 ha of taro plantations. Yam is a wild plant that grows on slopes and is harvested during the dry season. Harvesting on slopes results in an average soil loss of 0.2 t/ha, according to our research..

Processing 1 kg of Taro tuber yields 0.2 kg of starch. On the other hand, 0.411 liters of ethanol can be obtained per kg of starch. Thus, the transformation of two identical samples of 8,000 g of taro and yam tubers into ethanol and bioethanol under the same conditions in the laboratory of the Centre National de Recherches Industrielle et Technologique (CNRIT) yielded by distillation a volume of ethanol of 6,228 ml for taro and 6083 ml for yam. The yield of ethanol transformed into bioethanol is around 77.5% for alcoholic degrees between 82°GL and 92°GL. The remainder has an alcoholic strength ranging from 65°GL to 72°GL, i.e. 22.45%.

Application of the economic, ecological and viable ethanol and bioethanol production unit model developed for the benefit of small-scale ethanol producers requires an initial investment of MGA 3406140 and a grant of 2 ha of Taro or yam cultivation land for the 800 ethanol-producing households. Its adoption by smallholders will result in an Internal Rate of Return (IRR) of 28.6%, a Profitability Index (PI) of 1.25 and a Return on Capital Employed (ROCE) of 5 months and 23 days.

Keywords: starch plants, *Colocasia esculenta*, *Dioscorea Alata*, enzymatic hydrolysis, bioethanol, economic model, ecological

1. Introduction

L'énergie tient une place importante dans le développement d'un pays. Elle a permis le développement de l'industrialisation des pays développés et la croissance économique dans les pays émergents. L'énergie la plus utilisée dans notre époque reste encore celle d'origine fossile. A ce propos, on constate que le prix de l'énergie devient de plus en plus considérable, et que les réserves deviennent limitées. L'utilisation du carburant fossile a, au fur et à mesure, accentué la dégradation de l'environnement, s'illustrant par le réchauffement climatique qui se fait sentir dans le monde.

Ainsi, la tendance actuelle, dans le monde en matière de politique énergétique en général, s'oriente vers les énergies renouvelables et les biocarburants. Par ailleurs, des recherches sur de nouvelles sources énergétiques sont effectuées dans le but d'acquérir graduellement une indépendance énergétique.

Madagascar ne doit pas être en reste dans cet effort planétaire afin d'offrir à la population, des sources d'énergie durables à moindre coût. Vu que le pays est très dépendant des énergies fossiles qui occupent une place importante dans l'importation effectuées par le pays (700 000 m³/an selon l'OMH 2010). Ces nouvelles sources d'énergie vont contribuer à réduire progressivement et intensivement les émissions de gaz à effet de serre et ainsi, atténuer le réchauffement climatique de la planète. C'est dans ce contexte que ce travail de recherche a été focalisé sur la recherche de « Modèles économique et écologique d'unité de production d'éthanol et de bioéthanol à partir du taro, plantes amylacées de variété *Colocasia esculenta* et de l'igname ou *oviala* de variété *Dioscorea Alata* : cas du district de Befandriana nord » pour faire face à la problématique des enjeux énergétiques mondiaux.

2. Matériels

2.1. Zone d'étude : District de Befandriana Nord –Région Sofia

2.1.1. Localisation

Befandriana-Nord est la première agglomération du district, et l'une des sept villes qui constituent la région Sofia. Elle est située dans le Nord-Ouest de Madagascar et s'étend entre 14°17' et 15°34' de latitude sud, et 47°49' et 49°5' de longitude est, à 86km du district d'Antsohihy, qui est le chef-lieu de la région Sofia, sur la route nationale n°32, vers Mandritsara.

La commune urbaine de Befandriana-nord est l'une des 12 communes qui constituent le district de Befandriana - nord. Elle est limitée au nord par la commune rurale d'Ambararata, à l'est par la commune rurale de Maroamalona. À l'ouest et au sud, elle est limitée par la commune rurale de Morafeno. La ville est traversée par une rivière appelée *Somboaña*, qui la partage en deux parties : la rive gauche et la rive droite. La figure 1 présente les différentes fokontany de la ville de Befandriana Nord.

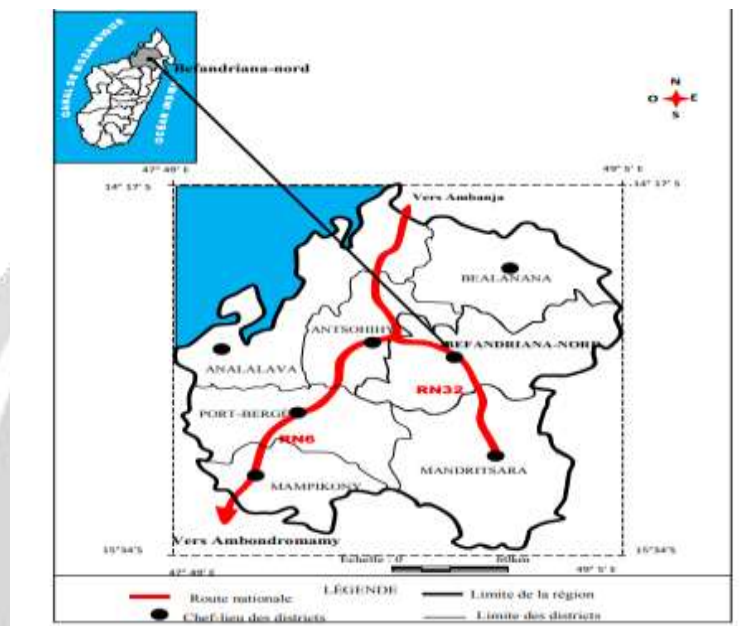


Figure 1 : Carte du district de Befandriana Nord- Source FTM 2016

2.1.2. Climat

Comme toutes les villes des hautes terres malgaches, Befandriana-nord connaît deux saisons : saison chaude et pluvieuse de novembre à avril et saison sèche du mois de mai au mois d'octobre. La saison sèche s'accompagne d'une certaine fraîcheur, surtout au petit matin, mais les températures sont en général constantes au cours de l'année, l'amplitude thermique reste généralement faible, la moyenne des minimas est de 22°C et celle des maximas, de 34°C.

2.1.3. Population

La ville de Befandriana-nord compte 4200 habitants en 1975, en 1993, on dénombre 6 891 habitants, c'est-à-dire un accroissement de 2 321 habitants en 16ans, soit un taux d'accroissement de 4,6% habitants/an. Depuis l'année 2000, on constate une augmentation spectaculaire de la population urbaine, due aux fonctions socio-économiques de la ville : fonction commerciale, culturelle et administrative. Sa population était au nombre de 36689 habitants en 2015(3% de la population Sofia en 2007) pour une superficie de 16,3km², soit une densité moyenne de 2 683hab /km². Sa population a été ainsi multipliée par six en 22 ans, avec un taux d'urbanisme de 15%.

2.1.4. Economie

L'économie de la ville repose surtout sur le secteur primaire : la culture du riz, de manioc, du maïs, l'apiculture et l'élevage de bovins, de porcs et plus récemment d'ovins (chèvres) ainsi que la récolte de fruits tels que : mangues, bananes, papayes, jaches, litchis, corossols...etc.

Le secteur tertiaire tel que les commerces de proximité sont très peu développés. Le secteur secondaire (transformation des matières premières) est pratiquement inexistant.

2.1.4.1. Agriculture

La population de la commune de Befandriana-nord est une population agricole, au moins 95% de la population locale gagne leur vie sur l'agriculture. Les activités de subsistance et génératrice de revenu de la population sont multiples. Elles sont caractérisées par la domination de l'activité rizicole et le petit élevage. Les activités agricoles constituent la principale source de revenu. D'une manière générale, elle pratique la culture vivrière, la culture de rente, la culture fruitière et la culture industrielle.

2.1.4.2. Elevage

Comme toute la commune dans le district de Befandriana, la population pratique des petits élevages très diversifiés. Ce sont d'élevage de bovin, d'ovin, des volailles. Le mode d'élevage pratiqué est un élevage extensif à base traditionnel. La production surtout les volailles est destinée à la vente sur le marché hebdomadaire en cas de besoin immédiat de l'argent. Ces petits élevages constituent essentiellement une rentrée de revenu supplémentaire pour les ménages.

3. Méthode

L'objectif de ce travail de recherche est d'élaborer un modèle économique et écologique, viable d'unité de production de bioéthanol des petits producteurs d'éthanol à partir des deux plantes amylacées : l'igname ou *oviala* en malgache, de la famille Dioscorea alata et le taro ou *saonjo dia*, de la famille des Aracées. L'atteinte de ces objectifs doit passer à travers les différentes activités suivantes : primo, la détermination de la composition chimique des tubercules frais, l'hydrolyse enzymatique de l'amidon, la production d'enzyme : le maltage ; secundo, le processus de production d'éthanol à partir du taro/ de l'igname (plante amylacée) ; tertio, la descente au niveau du district pour faire une investigation respectivement sur l'utilisation locale de ces tubercules, la détermination du rendement cultural du taro et de l'igname auprès des planteurs en saison sèche, l'évaluation de la perte en sol par la Méthode Universal soil loss Equation ou USLE Wischmeier moyennant un protocole bien défini ; quarto, les travaux de laboratoire permettant de déterminer la teneur en masse de l'amidon et de l'éthanol et de bioéthanol par unité de masse de tubercule de taro ou d'igname ; enfin, l'analyse et le traitement des données suivie de la rédaction de la présente recherche.

3.1. La composition biochimique et valeur nutritionnelle des tubercules frais de taro ou d'igname

La composition biochimique des tubercules est voisine de celle des pommes de terre avec environ 25 % d'amidon, mais un peu plus de protéines (environ 7 %, quatre fois plus que le manioc). Ils sont très pauvres en matières grasses et en minéraux, et assez riche en vitamine

C. Aussi, leurs caractéristiques se retrouvent parmi les tubercules amylacés : teneur en matières sèches inférieure à 40 % en moyenne, au sein de laquelle prédominent les hydrates de carbones qui sont nécessaires à l'obtention d'un meilleur rendement en sirop de glucose.

La valeur nutritionnelle repose sur les hydrates de carbone, les protéines et acides aminés, les vitamines et les minéraux, les lipides, on l'a vu étant négligeable.

Le tableau n° 1 donne les teneurs des principaux constituants de l'igname.

Tableau 1 : Valeur approchée des principaux composants chimiques de tubercule de l'Igname

Composition chimique	Teneur (%)
Humidité	65-73
Hydrate de carbone	22-29
Protéines brutes	1,12- 2,78
Lipides	0,03 – 0,27
Celluloses brutes	0,65 – 1,40
Cendres	0,67 – 2,06

Source : DEGRAS, 1986 [1]

Le tableau n° 2 donne les teneurs des principaux constituants du Taro

Tableau 2 : Teneur des principaux constituants du Taro

Composition Chimique	Teneur massique
Glucide	25,5 g
Sucre	0,49 g
Protéines	0,52 g
Lipides	0,11 g
Fibres	5,1 g
Eau	63,8 g
Cendres	0,97 mg

Source : [2]

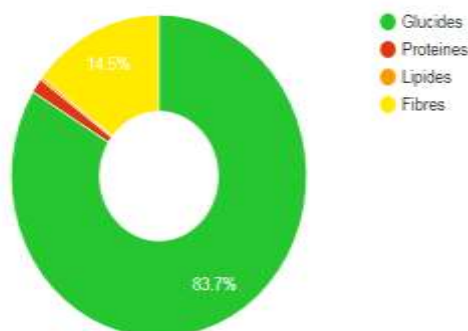


Figure 2 : Composition en macro nutriment du Taro

La connaissance de la composition en nutriment du Taro et de l'igname confirme leur aptitude à être convertie en éthanol et en bioéthanol.

3.2. L'hydrolyse enzymatique de l'amidon.

3.2.1. Définition

L'amidon est le sucre de réserve des plantes. C'est à dire que c'est surtout sous cette forme que les plantes mettent en réserve leurs sur plus de glucose. On retrouve de l'amidon surtout dans les racines, les graines et les fruits [3]. L'amidon est particulièrement abondant dans les céréales (riz, blé, maïs, etc.) et les tubercules (pommes de terre). La formation d'amidon dans les plantes provient de la photosynthèse [4].



Figure 3 : Découpage en morceau (Taro)



Figure 4 : Broyage



Figure 5 : Amidon

3.2.2. La production d'enzyme

L'organisme humain est le siège de nombreuses réactions chimiques sans qu'elles ne soient déclenchées par une source de chaleur. Le métabolisme catalyse ces réactions en utilisant des substances qui vont multiplier la vitesse de celles-ci. Ces substances sont appelées enzymes ou biocatalyseurs. Une enzyme est une protéine capable d'accélérer les réactions chimiques du métabolisme se déroulant dans le milieu cellulaire ou extracellulaire. Elle appartient à la famille des catalyseurs. Une enzyme, comme toute protéine, est synthétisée par les cellules vivantes à partir des informations codées dans l'Acide Desoxyribonucléique (ADN). Il existe plus de 3.500 enzymes.

Un catalyseur est désigné comme toute substance capable d'accélérer une réaction chimique.

Les enzymes sont responsables des transformations biochimiques (catalyse) des molécules du vivant, cette méthode de catalyse possède un fort potentiel pour des applications industrielles diverses et variées.

En l'absence d'enzymes, la grande majorité des réactions biochimiques ne pourraient pas se produire et la vie telle qu'on la connaît n'existerait pas. En effet, sans catalyse, ces réactions pourraient prendre plus de temps à se réaliser que dure la vie d'un être humain.

3.2.3. Hydrolyse

L'hydrolyse d'une substance est sa décomposition par l'eau grâce aux ions H^+ et OH^- provenant de la dissociation de l'eau. L'hydrolyse du saccharose donne du glucose et du fructose [Encarta, 2006]. L'hydrolyse de l'amidon est précédée d'un traitement thermique appelé « Gélification » pour faire éclater le grain qui libère l'amylose et l'amylopectine.

3.2.3.1. Hydrolyse de l'amidon

La conversion de l'amidon en sucres réducteurs peut être obtenue soit par l'hydrolyse en présence d'un acide tel que HCl ou H_2SO_4 , soit par l'hydrolyse enzymatique avec liquéfaction et saccharification à partir d'enzymes bien choisies.

• Hydrolyse enzymatique [5]

L'hydrolyse enzymatique représente un grand intérêt industriel et biologique. Sous l'influence des amylases scindant les liaisons (1, 4), il y a libération essentiellement de maltose et formation de dextrines résiduelles correspondant aux ramifications (1, 6). A son terme, l'hydrolyse conduit en plus du maltose à des traces d'isomaltose et de glucose. Les β amylases ou *saccharogène* amylases ou encore *exoamylases* décrochent directement des unités maltose à partir des extrémités non réductrices. Les β amylases abondantes dans les graines

amylacées en germination (paddy germé) provoquent lors de l'hydrolyse une inversion sur le carbone 1 du maltose ; c'est la forme β qui est libérée. Leur action laisse subsister à partir de l'*amylpectine* une dextrine limite correspondant aux zones de ramification.

3.2.4. Production d'enzyme : le maltage [6]

Le *maltage* est une opération qui consiste à reproduire, de façon industrielle, le développement naturel d'une céréale, généralement de l'orge de blé ou de paddy bien que le froment s'y prête également, afin que cette dernière produise certaines enzymes et des sucres.

Le principe du maltage consiste donc à reproduire les conditions idéales de développement du grain de paddy afin qu'il produise certaines enzymes (cytase, amylases, phosphatases, protéinases, peptidases) nécessaires à la saccharification de l'amidon, et donc, à la fabrication de l'alcool lors de la fermentation. Une fois les conditions réunies, la céréale commencera à produire des enzymes qui lui permettront :

- de pénétrer à travers la barrière hémicellulosique et ainsi de pouvoir accéder à ses réserves d'amidon ;
- de transformer l'amidon notamment en glucose, glucide métabolisable par les levures (produisant ainsi de l'eau et du CO_2).

Le maltage se déroule en 4 étapes :

- le trempage, qui consiste à mettre le paddy à tremper pendant une dizaine à une vingtaine d'heures ;
- la germination, qui est la période durant laquelle le paddy va commencer à germer, et donc, produire des enzymes telles que l'amylase. Cette étape dure environ une cinquantaine d'heures, variable en fonction de la variété, et donne naissance à ce que l'on appelle le « malt vert ».



Figure 6 : Grain de paddy Figure 7 : Ajout d'eau Figure 8 : Germination du paddy Figure 9 : Broyage

-le touraillage, qui consiste à sécher le « malt vert » (son humidité passe de 45% à 4%) dans un four à air à une température de 40°C durant une trentaine d'heures. Lors de cette étape, le malteur effectue un « coup de feu » où le « malt vert » est chauffé jusqu'à atteindre une température comprise entre 85°C et 105°C durant 1 à 4 heures. Cette étape est cruciale car c'est la durée du « coup de feu » qui va déterminer la teinte du malt. De même, le taux d'humidité va jouer sur l'arôme de caramel ;

- le dégermage, qui consiste à débarrasser le malt de ses radicules.

À l'issue de cette étape le malt est un élément inerte qui peut être conservé près d'un an.

3.4. Le processus de production d'éthanol à partir du taro/ de l'igname (plante amylacée)

a. Fermentation

La fermentation est une réaction biochimique de conversion de l'énergie chimique contenue dans une source de carbone (souvent du glucose) en une autre forme d'énergie directement utilisable par la cellule en l'absence de dioxygène (milieu anaérobie). La fermentation consiste à transformer le glucose en éthanol. Pour ce faire, l'ajout de levures au mélange est nécessaire. La fermentation alcoolique doit s'effectuer en anaérobiose, une température entre 15°C et 35°C. Le milieu anaérobie permet à la levure de changer le glucose en éthanol.

Le mode opératoire de la fermentation est illustré par la figure 10.



Figure 10 : Cuve de fermentation



Figure 11 : Cuve de fermentation

b. Distillation

Juste après la fermentation, on obtient ce que l'on appelle un moût, on prépare ensuite le distillateur puis on charge le moût dans le bouillier. Vérifier l'herméticité des tuyauteries du distillateur pour éviter les éventuelles fuites de vapeur et démarrer la distillation.



Figure 12 : Moût après fermentation



Figure 13 : Chargement moût dans distillateur



Figure 14 : Distillateur



Figure 15 : Ethanol obtenu après distillation

c. Rectification

La rectification, aussi appelée distillation fractionnée, est un procédé de séparation par fractionnement. Son but est de séparer les différents constituants d'un mélange de liquides miscibles, possédant des températures d'ébullition différentes. Pour cela, elle exploite le même principe que la distillation classique mais se distingue par l'utilisation d'une colonne de séparation, qui permet une meilleure discrimination des constituants du mélange.

d. Déroulement de la rectification

L'alcool obtenu par la distillation sera introduit dans le bouilleur du rectificateur et chauffé par la résistance électrique. La vapeur ainsi formée traverse la colonne garnie de matériau structuré (plateau). La température s'abaisse quand on monte dans la colonne. La vapeur constituée de composant le moins volatile (eau) se refroidit et se condense au niveau des plateaux de la colonne pour retomber dans le bouilleur. La vapeur riche en composant le plus volatile (alcool) continue sa montée dans la colonne de distillation, puis traverse la tuyauterie (circuit vapeur) et passe par le condenseur pour donner de l'alcool liquide distillé.

e. Mode opératoire

- On a regroupé l'alcool obtenu en 4 groupes par degré le plus élevé jusqu'au plus petit [72 ; 60], [59 ; 40], [35 ; 20], [19 ; 10]. Et chaque groupe d'alcool est contenu dans une bouteille en plastique de volume 1,5 litre ;
- Mesurer le degré alcoolique de la première distillation ;
- Préparer l'alcool puis le verser dans le bouilleur par l'intermédiaire de l'entonnoir de chargement, la quantité d'alcool à rectifier minimum est de 1L et maximum 4,5L ;
- Après chargement, ouvrir le robinet de l'entonnoir puis quand toute le composant dans l'entonnoir sera évacué dans le bouilleur, renfermer une seconde fois le robinet pour éviter la fuite ;
- Ouvrir le circuit eau de refroidissement, puis vérifier que tous les robinets de l'appareil soient fermés ;
- Brancher la prise et allumer l'appareil ;
- Recueillir au fur et à mesure à l'aide d'un récipient gradué le distillat ;
- Attendre que l'appareil se refroidisse puis ouvrir le robinet de déchargement et recueillir le résidu ;
- A la fin, on mesure une dernière fois le degré d'alcool du résidu.



Figure 16 : Alcools groupés



Figure 17 : Rectificateur



Figure 18 : Distillat ou Alcool rectifié

3.5. Descente au niveau du district

La descente au niveau de la zone d'étude a permis de faire un diagnostic sur la réalité locale relative au thème de recherche d'une part et d'autre part de faire une investigation sur l'utilisation par la population des tubercules de

Taro/igname, sur l'évaluation du rendement réel sur la culture du taro et de l'igname ainsi que sur l'évaluation des pertes en sol lors de la récolte de taro et de l'igname.

3.6. Méthode de calcul de perte en sol par Méthode Universal soil loss Equation ou USLE Wischmeier

L'équation universelle des pertes en terre (EUP, mieux connue par son abréviation anglaise, USLE) prévoit le taux annuel moyen d'érosion à long terme sur la pente d'un champ, en fonction de la configuration des pluies, du type de sol, de la topographie, de l'assolement et des pratiques de gestion des cultures. Ce modèle de prévision de l'érosion a été conçu pour mesurer l'influence de l'assolement et du système de gestion des cultures sur l'érosion, mais il peut aussi servir à prévoir l'érosion dans un cadre qui n'est pas agricole, notamment sur des chantiers.

Cinq grands facteurs servent à calculer les pertes de terre en un endroit donné. Chaque facteur est une estimation numérique d'une composante précise qui affecte la gravité de l'érosion du sol à un endroit donné. Les valeurs d'érosion obtenues par l'application de ces facteurs peuvent varier considérablement en raison des différentes conditions météorologiques. Par conséquent, les valeurs obtenues par l'EUP représentent avec plus de précision les moyennes à long terme.

3.6.1. Equation universelle des pertes en terre

L'équation universelle s'écrit : $A = R \times K \times LS \times C \times P$

Où : A : exprime les pertes de terre annuelles moyennes possibles à long terme en tonnes par année

- R : correspond au facteur de pluie et de ruissellement par secteur géographique, pris au niveau de la station météorologique la plus près du site d'étude. Plus les précipitations sont intenses et plus elles durent longtemps, plus grands sont les risques d'érosion

-K : représente le facteur d'érodibilité du sol. Il s'agit de la perte de terre moyenne en tonnes par unité de superficie pour un sol particulier, dans un champ travaillé constamment laissé en jachère, qui possède une pente dont les caractéristiques ont été arbitrairement fixées à 72,6 pieds pour la longueur et à 9 % pour l'inclinaison.

Le facteur K est une mesure de la vulnérabilité des particules de sol au détachement et au transport par la pluie et le ruissellement. La texture est le principal facteur qui influence le facteur K, mais la structure, la teneur en matière organique et la perméabilité du sol ont aussi un rôle à jouer.

-LS : est le facteur de longueur et d'inclinaison de la pente. Le facteur LS représente un rapport des pertes de terre sous des conditions données, aux pertes de terre en un endroit caractérisé par une inclinaison « standard » de 9 % et une longueur de pente de 72,6 pieds. Plus la pente est forte et longue, plus élevé est le risque d'érosion.

-C : est une valeur généralisée du facteur C pour une culture en particulier, et ne tient pas compte des rotations des cultures, du climat ni de la répartition annuelle des précipitations dans les différentes régions agricoles du pays. Toutefois, ce facteur C généralisé donne des chiffres relatifs pour différents assolements et systèmes de travail du sol; il aide ainsi à évaluer les avantages respectifs de chaque système.

-P : correspond au facteur de pratique de conservation. Il reflète les effets des pratiques qui réduisent la quantité d'eaux de ruissellement et la vitesse de ruissellement et qui réduisent de ce fait l'importance de l'érosion. Le facteur P représente le ratio des pertes de terre associées à une pratique de conservation aux pertes de terre associées à la culture en lignes dans le sens de la pente. Les pratiques de conservation les plus couramment utilisées sont le travail du sol à contre-pente, la culture suivant les courbes de niveau et la culture en bandes.

La descente au niveau de la zone d'étude a permis d'obtenir les différents paramètres pour la détermination de la perte en sol dont le facteur : R et k respectivement au niveau de la station Météorologique la plus proche et le facteur K à travers la prise d'échantillon de sol dans la zone d'étude permettant de déterminer par analyse de sol au laboratoire la texture du sol, sa structure, sa teneur en Matière organique ainsi que sa perméabilité.

4. Résultats

Les résultats obtenus lors de cette intervention sont présentés un à un tels que l'utilisation dans la zone d'étude du Taro ou de l'igname, leur rôle au niveau de chaque ménage dans le district de Befandriana nord, le rendement cultural de ces plantes, l'évaluation de pertes en sol dans le district

4.1. Utilisation locale des tubercules de Taro/igname

L'enquête effectuée dans quelques communes du district de Befandriana Nord a permis d'inventorier les différentes utilisations de ces ressources locales. L'investigation a été réalisée dans la commune Rurale d'Antsakanalabe et d'Ambodimotso située respectivement à 60 km et 18 km du chef-lieu de district de Befandriana Nord. Cinq ménages de catégories socio professionnelles différentes ont été enquêtés pour connaître l'utilisation respective de Taro et de l'igname.

Tableau 8 : Récapitulatif de l'effectif de ménage enquêté et l'utilisation du Taro dans la Commune Rurale d'Antsakanalabe

Type ménage	Effectif	Diverses utilisations			
		Aliment en période de soudure	Aliment pour les bétails	Aliment quotidien	Pour la vente
Ménage aisé	5	4	1	0	0
Ménage moyen	5	3	2	0	1
Ménage modéré	5	1	0	3	1

Ce tableau montre que le taro est le plus utilisé comme aliment quotidien des ménages modérés par rapport aux ménages moyens et aisés qui l'utilisent comme aliment en période de soudure seulement.

Cette descente a permis de connaître le volume mensuel de Taro consommé par ménage. L'enquête effectuée auprès de quinze ménages différents a permis de connaître le volume de Taro consommé par ménage tous les mois. Le tableau 9 récapitule les résultats.

Tableau 9 : Volume mensuel de taro consommé par ménage

Type ménage	Effectif	Consommation mensuelle par ménage (kg)
Ménage aisé	5	15,2
Ménage moyen	5	14,9
Ménage modéré	5	15,01
Moyenne (kg)		15,04

Ce tableau montre qu'un ménage consomme en moyenne 15 kg de Taro tous les mois.

Le tableau 10 montre l'effectif de ménage enquêté avec les diverses utilisations de l'igname dans la Commune Rurale d'Ambodimotso.

Tableau 10 : Récapitulatif de l'effectif de ménage enquêté avec les diverses utilisations de l'igname dans la Commune Rurale d'Ambodimotso.

Type ménage	Effectif	Diverses utilisations			
		Aliment en période de soudure	Aliment pour les bétails	Aliment quotidien	Pour la vente
Ménage aisé	5	5	0	0	0
Ménage moyen	5	4	0	0	1
Ménage modéré	5	1	0	3	1

Pour le cas de l'igname, à part les ménages modérés, l'igname est utilisée pour la majorité des ménages comme aliment en période de soudure. Leur consommation moyenne mensuelle en igname est de

Tableau 11 : Volume mensuel d'igname consommé par ménage

Type ménage	Effectif	Consommation mensuelle par ménage (kg)
Ménage aisé	5	20,3
Ménage moyen	5	20,7
Ménage modéré	5	19,02
Moyenne (kg)		20,01

Ce tableau montre qu'un ménage consomme en moyenne 20,01 kg d'igname tous les mois.

3.5.2. Détermination du rendement culturel du Taro/igname

L'investigation pour l'évaluation du rendement culturel du Taro et de l'igname a été réalisée dans la commune Rurale d'Antsakanalabe et d'Ambodimotso dans le district de Befandriana Nord durant la récolte de tubercule dans cinq terrains différents de culture de Taro et d'igname. La récolte a été faite sur une superficie de 4 m² chacune.

Tableau 12 : Evaluation du rendement culturel en Taro dans la commune Rurale d'Antsakanalabe

N° Terrain	Quantité obtenue (kg)
1	1,29
2	1,27
3	1,23
4	1,2
5	1,21
Total	6,2
Moyenne	1,24

Ce tableau montre que le rendement de culture de taro dans 4 m² a permis de récolter 1,24 kg, correspondant à 3 tonnes de taro par ha par an.

Par contre, pour le cas de l'igname, la récolte obtenue sur une superficie de 4 m² a permis d'avoir en moyenne 1,62 kg, correspondant à 4 t d'igname par ha par an

Tableau 13 : Evaluation du rendement culturel en Igname dans la commune Rurale d'Ambodimotso

N° Terrain	Quantité obtenue (kg)
1	1,63
2	1,59
3	1,62
4	1,58
5	1,59
Total	8,01
Moyenne	1,602

3.5.3. Evaluation de la perte en sol par la récolte du Taro et de l'igname par la Méthode Universal soil loss Equation ou USLE Wischmeier.

En tenant compte de tous les résultats obtenus avec les paramètres d'évaluation de la perte en sol par la récolte en Taro et en Igname ainsi que l'investigation effectuée pour l'évaluation des pertes en sol dans le district lors de la récolte de ces deux produits, la perte en sol obtenu pour la culture de Taro et de l'igname est respectivement de 0,075 t/ha/an et 0,2 t/ha/an.

3.6. Les résultats de travaux de laboratoire

Plusieurs essais d'expérimentation ont été effectués dans le cadre de ce travail de recherche et les résultats comprennent respectivement : la Teneur en Masse de l'amidon et de l'éthanol, la Production de bioéthanol à partir de tubercule de Taro/igname et l'élaboration de modèle économique, écologique viable pour les petits producteurs d'éthanol.

3.6.1. Teneur en Masse de l'amidon et de l'éthanol

A partir des essais d'expérimentation de laboratoire utilisant 1 kg de tubercule de Taro, on a pu obtenir 0,2 kg d'amidon. De plus, c'est à partir de 1 kg d'amidon qu'on a pu obtenir 0,411 l d'éthanol.

3.6.2. Production de bioéthanol à partir de tubercule de Taro/igname

3.6.2.1. Production d'éthanol

Les essais de production d'éthanol effectués au laboratoire à partir de 8000 g de Taro et 8000g d'igname ont permis d'obtenir respectivement 6083 ml et 6228 ml d'éthanol à partir d'igname et du Taro. Les tableaux 14 et 15 informent les résultats de ces essais d'expérimentation.

Tableau 14 : Résultats de production d'éthanol à partir du Taro

Variété: Taro					
N° essai	Taro hydrolysé(g)	Levure (%)	Levure (g)	Durée fermentation (jrs)	Ethanol (ml)
1	8000	5	400	3	1268
2	8000	7	560	4	1403
3	8000	8	640	5	1385
4	8000	9	720	6	1145
5	8000	10	800	7	1027
Total (ml)					6228

La production d'éthanol et d'igname est présentée dans le tableau 14 et le tableau 15.

Les résultats de production d'éthanol à partir de l'igname sont récapitulés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Résultats de production d'éthanol à partir de l'igname

Variété: Igname					
N° essai	Igname hydrolysé(g)	Levure (%)	Levure (g)	Durée fermentation (jrs)	Ethanol (ml)
1	8000	5	400	3	1175
2	8000	7	560	4	1380
3	8000	8	640	5	1377
4	8000	9	720	6	1096
5	8000	10	800	7	1055
Total (ml)					6083

3.6.2.1. Production de bioéthanol après Rectification de l'éthanol de Taro et d'Igname

Après avoir obtenu l'éthanol par distillation, , il faut le faire passer à la rectification pour accroître leur degré alcoolique.

Tableau 16 : Résultats de production de bioéthanol à partir de l'éthanol du Taro

Variété: Taro			
N° essai	Taro hydrolysé(g)	Ethanol (ml)	Bioéthanol (ml)
1	8000	1268	883
2	8000	1403	866
3	8000	1385	400
4	8000	1145	362
5	8000	1027	260
Total (ml)		6228	2771

Le volume de bioéthanol obtenu est de 2771 ml dont 2149 ml correspondant à 77,55% sont du bioéthanol à 82 à 92°GL et les 22,45% sont du bioéthanol à 65 à 72°GL et correspondant à 622 ml.

Tableau 17 : Résultats de production de bioéthanol à partir de l'éthanol de l'igname

Variété: Igname			
N° essai	Taro hydrolysé(g)	Ethanol (ml)	Bioéthanol (ml)
1	8000	1175	545
2	8000	1380	527
3	8000	1377	538
4	8000	1096	545
5	8000	1055	552
Total (ml)		6083	2707

Le volume de bioéthanol obtenu est de 2707 ml dont 2099,28 ml correspondant à 77,55% sont du bioéthanol à 82 à 92°GL et les 22,45% sont du bioéthanol à 65 à 72°GL et correspondant à 607,72 ml.

3.7. Elaboration de modèle économique, écologique viable pour les petits producteurs d'éthanol

3.7.1. Contexte

L'enquête effectuée auprès des petits producteurs d'éthanol dans le district de Befandriana Nord a pu montrer que ces producteurs n'ont pas la possibilité d'accéder au micro crédit pour développer leur exploitation, pourtant ils continuent à exercer leur métier. Face à de telle situation, une étude économique a été réalisée pour voir les indicateurs de Rentabilité de leur activité.

3.7.2. Approche adoptée

Pour voir la réalité de leur situation, une enquête auprès de ces exploitants a permis de connaître leur situation respective suivante :

- a) Pour la culture de canne à sucre
 - La majorité des producteurs d'éthanol possède en moyenne : 0,5 ha pour la culture de canne à sucre
 - Le rendement moyen est de 60t/ha/an
 - 797 ménages à 800 ménages correspondant à 1,29% de la totalité des ménages pratiquent le métier de producteurs d'éthanol ;
 - Prix du litre d'éthanol : 6000 MGA
- b) Pour la culture de Taro /igname
 - Le Taro ou igname est utilisée comme aliment en période de soudure ou comme aliment de bétail
 - Consommation mensuelle de taro par ménage : 15 kg
 - Consommation mensuelle d'igname par ménage : 20 kg
 - La majorité des ménages possède en moyenne : 0,5 ha pour la culture de Taro ou d'igname.
 - Production annuelle de taro/igname par ménage : 70 kg à 100 kg
 - Prix de vente du kg de taro/igname : 1000 MGA

3.7.3. Etude de Rentabilité de l'unité de production d'éthanol selon l'ancienne méthode de production

Les résultats de l'étude financière selon l'ancienne méthode de production d'éthanol ont montré que l'utilisation de 0,5 ha de culture de canne à sucre par ménage pour la production d'éthanol n'est pas rentable.

3.7.4. Etude de scénarii pour trouver la solution la plus viable pour assurer la pérennisation du métier des producteurs d'éthanol

Selon la monographie de la Région Sofia, le district de Befandriana a une superficie totale de 9121 km² soit 912 100 ha dont 63140 ha (6,9% de la surface totale) de superficie cultivable potentiellement, pouvant être exploitées dans ce sens et 32168 ha (48% surface cultivable) de superficie effectivement cultivée.

Parmi la solution la plus viable : proposition de scénarii :

- **Scénario 1** : donner 0,5 ha de terrain de culture de taro pour les 797 ménages.

Investissement initial (Io) = 3 406 140 Ar

Effectif personnel petit producteur = **3 pers**

Conclusion = Non Rentable

- **Scénario 2** : donner 0,5 ha de terrain de culture

Investissement initial (Io) = 3 406 140 Ar

Effectif personnel petit producteur = **2 pers**

Conclusion = Non Rentable

- **Scénario 3 : Don de 2ha de terrain de culture de Taro/igname**

Investissement initial (Io) = 3 406 140 Ar

Effectif personnel petit producteur = **3 pers**

Conclusion = Non Rentable

- **Scénario 4 : Don de 2ha de terrain de culture de Taro/igname**

Investissement initial (Io) = 3 406 140 Ar

Effectif personnel petit producteur = **2 pers**

Conclusion = Rentable

Io = 1879750 Ar

3.7.5. Les indicateurs de rentabilité financière du modèle économique et écologique d'unité de production d'éthanol et de bioéthanol

Parmi les quatre scénarii étudiés, le scénario 4 est le modèle économique et écologique le plus intéressant.

Ce scénario consiste à donner 2 ha de terrain de culture aux 800 ménages producteurs d'éthanol et de bioéthanol pour développer leur métier. L'adoption de ce scénario 4 leur permettra d'avoir un chiffre d'Affaire de 9 252 000,00 Ar pour la première année d'exploitation et 13 545 853,00 Ar à la 5^{ème} année.

Pour un investissement par exploitant de 1 879 750,00 Ar, l'Indice de profitabilité est de 1,25, soit 469 937,5 Ar. Le temps de retour de l'investissement est de 5 mois et 23 jours.

Les tableaux 18, 19 et 20 montrent le plan de financement du modèle, le tableau des chiffres d'affaire et le plan de trésorerie.

Tableau 18 : Plan de financement

RUBRIQUES	Pourcentage	Montant
Apport des associés	30%	1 021 842
Emprunt	70%	2 384 298
INVESTISSEMENT en Ariary	100%	3 406 140

Ce tableau montre que l'exploitant apporte les 30% de l'investissement initial d'Ar 3 406 140 et les 70% restant seront à emprunter à la banque.

Tableau 19 : Chiffre d'Affaire

Rubriques	1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	3 ^{ème} année	4 ^{ème} année	5 ^{ème} année
1) Chiffre d'affaire pour la vente d'éthanol					
Vente d'éthanol	9 252 000,00	10 177 200,00	11 194 920,00	12 314 412,00	13 545 853,20
Chiffre d'affaires Totale Vente d'éthanol (CA)	9 252 000,00	10 177 200,00	11 194 920,00	12 314 412,00	13 545 853,20

Ce tableau montre le chiffre d'Affaire de chaque exploitant à la 1^{ère} année de 9 252 000,00 Ar et 13 545 853,00 Ar à la 5^{ème} année.

Tableau 20 : Plan de trésorerie

Rubriques	1 ^{ère} année	2 ^{ème} année	3 ^{ème} année	4 ^{ème} année	5 ^{ème} année
-----------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

Emprunts contractés	2 384 298,00				
Vente	9 252 000,00	10 177 200,00	11 194 920,00	12 314 412,00	13 545 853,20
Encaissement	11 636 298,00	10 177 200,00	11 194 920,00	12 314 412,00	13 545 853,20
Charges d'exploitation	6 105 560,00	6 116 116,00	6 727 727,60	6 740 500,36	7 414 550,40
Intérêts	429 173,64	369 184,67	298 397,70	214 869,06	116 305,27
IBS (25%)	561 816,59	805 789,83	925 360,18	1 223 303,29	1 443 961,30
Immobilisations	54 750,00				
Remboursement d'emprunt	762 445,67	762 445,67	762 445,67	762 445,67	762 445,67
Décaissement	7 913 745,90	8 053 536,18	8 713 931,14	8 941 118,38	9 737 262,63
Solde	3 722 552,10	2 123 663,82	2 480 988,86	3 373 293,62	3 808 590,57

Ce tableau montre que chaque exploitant aura un solde d'Ar 3 722 552,10 à la 1^{ère} année et Ar 3 808 590,57 à la 5^{ème} année.

Sur le plan environnemental, l'adoption de ce scénario 4 permettra de réduire les pertes en sol par la culture d'igname de 0,2 t/ha, c'est une perte très minime si l'on considère la Méthode Universal soil loss Equation ou USLE Wischmeier d'inférieur à 6t/ha/an pour les pertes tolérables. C'est pourquoi pour ce scénario 4, c'est seulement 318,83 t les pertes en sol dues aux lavages pour les 800 ménages exploitants.

Conclusion

Dans le district de Befandriana nord, la production d'éthanol ou alcool de bouche est un métier héritier de leur grand parent ou parent. C'est l'activité la plus pratiquée par les 797 à 800 ménages selon l'enregistrement auprès de la commune des exploitants durant le dernier recensement. Pour exercer ce métier, chaque ménage dispose d'un investissement de 3 406 140 Ar avec des équipements et matériels rudimentaires. L'évaluation financière a montré que l'exploitation n'est pas rentable et il faut chercher des solutions durable et viable pour ces ménages exploitants. En tenant compte de la potentialité en terrain non encore exploité du district en matière de terrain non cultivé. Quatre scénari différents ont été proposés : fournir aux ménages producteurs d'alcool 0,5 ha pour accroître leur activité. C'est la situation pour le 1^{er} scénario. Ce premier scénario n'est pas rentable.

Le second scénario est identique au premier car on a donné de même aux petits exploitants. Cette seconde exploitation est de même non rentable pour les petits exploitants. Enfin, le dernier scénario, consiste à donner aux petits exploitants 2 ha de terrain par ménage, cette situation est la plus intéressante et a permis aux petits exploitants puisque les indicateurs de rentabilité le confirment : la Valeur actuelle nette (VAN) est positive, l'Indice de Profitabilité (Ip) est de 1,25 et le retour du capital investi est de 5 mois et de 25 jours.

Ainsi, le modèle économique et écologique proposé auprès des 1,29% des producteurs de bioéthanol est le dernier scénario avec l'octroi de 2ha de terrain est la plus intéressante non seulement sur le plan économique mais écologique en enregistrant seulement une perte en sol de 0,2 t/ha/exploitant, soit 318,83 t pour les 800 ménages exploitants.

Références Bibliographique et webographie

- [1]. DEGRAS L., (1986), L'igname : plante à tubercule tropicale .Paris : ACCT. Maison neuve et larose ; 408 p.
- [2]. <https://alimentation-et-nutrition.fr/taro-tubercule-cuit-valeurs-nutritionnelles>
- [3] : G .LEBAS, Etude du métabolisme carboné et azoté de Miscanthus x giganteus, Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne, 2012.
- [4] : M .PHILIPPE, Dérivés carboxyliques de l'amidon riche en amylose comme excipients pharmaceutiques: aspects structuraux et formula ti ons d'enzymes pan créatiques, Université du Québec à Montréal, 2007
- [5] AUDIGIE Cl., ZONZAIN F., (1979), Biochimie structurale dans Biosciences et Techniques, 263p.
- [6] BISOA V., (1997), Contribution à l'étude de l'hydrolyse enzymatique de l'amidon de riz par la méthode de maltage, Mémoire de DEA, Antananarivo : Université d'Antananarivo