



(A) Explants de feuilles

(B) Cals obtenus à partir d'explants de feuilles

Photos 17 : Calogénèse à partir d'explants de feuilles et de fleurs



(A) Prétraitement des feuilles

(B) Prétraitement des boutons floraux

(C) Boutons floraux prétraités

Photos 18 : Prétraitement sur pied à l'hypochlorite de calcium (3 %) pour les fleurs et à l'eau de javel (2 %) pour les feuilles



Photos 19 : Batterie de biofermenteurs

Pour l'optimisation de la qualité des produits du giroflier de Madagascar (clous et huiles essentielles) : étude des facteurs de leurs variabilités

Optimization on the quality on the clove tree from Madagascar (Cloves buds and essential oil): Studies of the factors of their variability



G. RAZAFIMAMONJISON^{1,2,3*}
 R. BOULANGER⁴
 M. JAHIEL^{2,3,5}
 M. RAKOTOARISON¹
 R. SANDRATRINIAINA¹
 J. RASOARAHONA¹
 P. RAMANOELINA¹
 F. FAWBUSH¹
 M. LEBRUN⁴
 P. DANTHU^{2,6,7}

(1) Université d'Antananarivo, École Supérieure des Sciences Agronomiques, BP 175, Antananarivo, Madagascar
 (2) DP Forêts et Biodiversité, BP 853, Antananarivo, Madagascar
 (3) Centre Technique Horticole de Tamatave, BP 11, Tamatave, Madagascar
 (4) CIRAD, UMR PERSYST « QualiSud », Food Processing Research Unit, 73, rue J.F. Breton, 34398 Montpellier Cedex 05, France
 (5) CIRAD, UPR Hortsys, PS4, Boulevard de la Lironde, 34392 Montpellier Cedex 05, France
 (6) CIRAD, UR 105, Campus de Baillarguet, 34392 Montpellier Cedex 05, France
 (7) CIRAD, Direction régionale à Madagascar BP 853, Antananarivo Madagascar
 * Corresponding author Email: rdinagaylor@yahoo.fr



Résumé

Le giroflier (*Syzygium aromaticum*) est un arbre introduit à Madagascar depuis environ un siècle. Il est distribué sur tout le littoral est, avec une forte concentration dans la région Analanjirifo. Deux « organes » sont collectés : les clous et les feuilles et deux produits majeurs sont commercialisés : les clous séchés, les huiles essentielles extraites des clous, des feuilles et des griffes.

Madagascar en est le premier exportateur mondial. Cependant une limite forte au développement de cette filière est la variabilité de la qualité des produits (clous et surtout huile essentielle). Les travaux antérieurs ont analysé la composition des huiles essentielles de girofle, mais ces travaux réalisés sur très peu d'échantillons et/ou sur des lots de feuilles ou de clous récoltés en vrac ne permettent pas d'accéder aux déterminants de la variabilité.

Six études ont été menées dans la région d'Analanjirifo avec l'objectif général d'appréhender les sources de variabilité afin de les maîtriser et de proposer aux opérateurs (paysans, et collecteurs) des éléments pour optimiser la qualité des clous et des huiles essentielles de girofle produits à Madagascar.

Les clous, feuilles et griffes sont collectés dans l'aire de distribution sur le littoral est de Madagascar dans la région d'Analanjirifo. L'extraction de l'huile essentielle est effectuée par hydrodistillation pendant quatre heures dans un appareil de type Clevenger modifié. Les huiles essentielles sont analysées par la chromatographie en phase gazeuse couplée de Spectrométrie de Masse (CPG/SM). L'analyse en composante principale a été utilisée pour mettre en évidence la variabilité de la composition chimique des huiles essentielles.

Les études ont permis de maîtriser les facteurs de variabilités du rendement et de la composition chimique des huiles essentielles de girofle. Il est possible d'utiliser la teneur en composant majoritaire pour différencier les huiles essentielles extraites de clous, de feuilles et de griffes du giroflier. Le meilleur moment de récolter les clous de girofle pour leurs huiles essentielles est au stade de bourgeon final (clous en pleine maturité) pour obtenir un meilleur rendement et une haute teneur en eugénol. Le rendement et la teneur en eugénol sont à l'optimum au stade des feuilles matures (feuilles vertes foncées). Il convient d'extraire l'huile essentielle de feuilles de giroflier après environ une semaine de séchage à l'ombre, puisque la teneur en huile essentielle est à son maximum. Les modifications et améliorations de l'alambic ont permis de diminuer le temps de distillation, de réduire la consommation de bois de chauffe et surtout d'améliorer le rendement et la teneur en eugénol et en β -caryophyllène de l'huile essentielle.

Mots clés : giroflier, clous, feuilles, griffes, hydrodistillation, alambic, huile essentielle, rendement, composition chimique eugénol.

Abstract

The clove tree (*Syzygium aromaticum*) was introduced in Madagascar at the beginning of the 19th century. Two major products are used and marketed from clove trees: the clove which is the unopened green fully grown buds upon drying, and the essential oil extracted either from buds, leaves or stems.

Madagascar is the world's leading exporter. However the non-consistency of the product quality (cloves and essential oils) constitutes a limiting factor to the development of the sector. Previous works attempted to measure the composition of clove essential oil, however, they were performed on limited quantity of samples collected from bulk products of leaves or buds which did not allow the determination of the factors of variability.

Six studies were conducted within the area of Analanjirifo, and the main objective was to identify the sources of variability on yield and chemical composition of the essence, and then make recommendations to the actors in the field, mainly farmers, on how to optimize the quality of cloves and of clove essential oil produced in Madagascar.

Buds, leaves and stems of *S. aromaticum* were collected on the east coast of Madagascar, the Analanjirifo region. The essential oils were extracted by hydrodistillation for 4 hours using a Clevenger-type equipment. The essential oils were analyzed by Gas Chromatography coupled by Mass Spectrometry (GC/SM). To highlight the effects of variability on the composition of *S. aromaticum* oil Principal Component Analysis were carried out.

Studies allowed a control of the factors of variability on yield and on chemical composition of the clove essential oils. It is possible to use the content in major component to differentiate the plant materials used in the extraction whether cloves, leaves or stems. The right moment to harvest cloves for their essential oils is towards the end of the bud stage if the aim is to obtain the highest yield and the highest content in eugenol. The optimum yield and eugenol content are obtained when the leaves reach full maturity (dark green color leaves). Drying the leaves in the shade prior to the extraction for approximately one week will provide better yield since the essential oil content is then maximal. Modifications and improvements were also performed on the alembic in order to reduce the distillation duration, to limit the consumption of firewood and especially to improve the yield and the eugenol and β -caryophyllene content of the oil.

Keywords: cloves, leaves, stems, hydrodistillation, alembic, essential oil, yield, chemical composition, eugenol.

Introduction générale

Le giroflier (*Syzygium aromaticum*) ou (*Eugenia caryophyllum*), est présent à Madagascar depuis la fin du XIX^e siècle. Le giroflier est surtout cultivé pour ses clous qui sont les boutons floraux cueillis avant leur épanouissement. On cultive également le giroflier pour ses feuilles et ses griffes dont on extrait une essence très riche en eugénol.

Pour les deux produits majeurs issus du giroflier (clous et essence), Madagascar est actuellement le premier exportateur mondial avec des quantités exportées moyennes de 11 000 tonnes pour les clous et de 1 500 tonnes pour l'essence. Les produits sont destinés principalement à fournir une demande asiatique en croissance constante du fait de l'augmentation régulière de la démographie.

Même si les principaux marchés récepteurs des produits issus du giroflier sont moins exigeants que les marchés européens, la concurrence sur ces produits et la diminution des marges bénéficiaires ont conduit les acheteurs à être plus exigeants en ce qui concerne la qualité : taille et poids des clous, humidité, teneur en eugénol des huiles essentielles.



Les analyses des « produits » confirment une importante variabilité en ce qui concerne ses caractéristiques qualitatives, rendant difficile la valorisation de produits de qualité supérieure et la mise en place de filière commerciale basée sur une maîtrise de critères qualitatifs (certification type Indications Géographiques, par exemple).

Qualité des clous

La qualité des clous varie selon les sources biologiques (stade de plantation) et les sources technologiques (opérations post-récolte). Le choix variétal est globalement limité pour le cas malgache et même si ce critère constitue en théorie un point essentiel de maîtrise de la qualité (Krishnamoorthy et Rema, 1994), peu de producteurs malgaches peuvent le moduler. Par ailleurs, les conditions pédologiques et le microclimat influent largement sur la productivité et la qualité des clous.

Les pratiques culturales semblent influencer plus sur la productivité que sur la qualité-même du produit. En effet, le giroflier requiert par nature peu de soins pour une production qui peut s'étaler sur une vingtaine d'années. Le paillage et l'écimage constituent des moyens d'optimiser la production, sans toutefois influencer sur la taille des clous, leur couleur ou sensiblement sur leur teneur en eugénol.

Par contre, la récolte constitue une phase induisant énormément d'hétérogénéité dans la construction de la qualité du produit. Le choix est déterminé par l'état du bouton floral dont la période optimale est très passagère et le degré de maturité des boutons floraux est échelonné sur chaque pied. Ils ne doivent pas être récoltés avant qu'ils ne virent au rose. Le moment optimum de récolte est celui où le bouton est de taille maximale et commence à virer au rouge mais n'est pas encore éclos (Gopalakrishnan *et al.*, 1982).

L'essentiel des opérations post-récolte est constitué par le séchage des boutons floraux, l'égriffage et le triage. Les opérations de séchage influent sur la qualité du clou. Trop d'humidité induit un brunissement excessif qui donne au clou une couleur brun foncé à noir alors que les normes parlent d'une couleur brun foncé. Le triage influe, quant à lui, sur le taux d'impuretés et le taux de clous sans têtes dans l'échantillon.

Qualité des huiles essentielles

La comparaison des résultats publiés par différents auteurs sur la composition chimique des huiles essentielles de girofle montre une grande diversité. Les huiles essentielles de clous, de feuilles et de griffes du girofle sont principalement caractérisées par l'eugénol, l'acétate d'eugényle et le β -caryophyllène mais à des proportions différentes selon les auteurs.

Une teneur élevée en eugénol et en β -caryophyllène, respectivement de 78 % et de 13 % est remarquée dans l'huile essentielle de clou de Prashar *et al.* (2006) alors que les huiles essentielles étudiées par Pawar et Thaker (2006) présentent une faible teneur en eugénol (47,64 %) avec une concentration en benzyl alcool de 34 %. Par ailleurs, les huiles essentielles de clous analysées par Fu *et al.* (2007) et Chaieb *et al.* (2007) diffèrent énormément. Les huiles analysées par Fu *et al.* sont caractérisées par l'eugénol (68,52 %), le β -caryophyllène (19 %), acétate d'eugényle (10,15 %) et α -caryophyllène (1,85 %) et celles de Chaieb *et al.* par l'eugénol (88,58 %), l'acétate d'eugényle (5,62 %), le β -caryophyllène (1,39 %) et d'autres constituants mineurs (0,1 à 0,9 %).

Pour les huiles essentielles de feuilles, une variabilité dans la composition chimique a aussi été mise en évidence. La composition chimique des huiles essentielles venant de Little Andaman (Raina *et al.*, 2007) est différente que celles venant de l'Indonésie (Vernin *et al.*, 1994) avec des variations en eugénol (94,4 % vs 71 %), caryophyllène (2,9 % vs 14 %) et α -humulène (0,36 % vs 1,75 %) respectivement. Il est à noter

aussi que le β -caryophyllène (2,9 %), le nérol (0,79 %) l'oxyde de caryophyllène (0,67 %) sont présents dans les huiles essentielles venant de Little Andaman alors que ces constituants sont absents ou sous forme de traces dans les échantillons venant du sud de l'Inde (Gopalakrishnan *et al.*, 1988). De même, l'acétate d'eugényle (1,5 %) et l' α -farnésol (0,5 %) ont été seulement détectés dans les huiles du sud de l'Inde.

Les constituants majeurs des huiles de griffes venant de l'Inde et Madagascar sont l'eugénol (70 % et 82 %) et le β -caryophyllène (19,5 % et 7,2 %). Des différences significatives sont observées dans la teneur en acétate d'eugényle des huiles essentielles de griffe provenant des deux régions (2,1 % vs 6 %), en α -humulène (1,9 % vs 0,8 %), en (E) α -bergamotène (1,3 % vs 0,2 %), en iso-eugénol-1 (0,8 % vs 0,1 %) ,en γ -cadinène (0,8 % vs 0,2 %), en (E)-nérolidol (0,1 % vs 0,4 %), en allo-aromadendrène (0,3 % vs 0,1 %) et en selinène (0,1 % vs 0,3 %) (Srivastava *et al.*, 2005).

La comparaison des résultats publiés par différents auteurs sur la composition chimique des huiles essentielles de clous, de feuilles et de griffes du girofle a montré une assez grande disparité.

Mais la limite de toutes ces études est liée au fait qu'elles sont réalisées sur un seul échantillon. La structuration n'est donc souvent pas connue : est-ce l'huile essentielle d'un seul individu, d'un mélange d'individus ? De plus les conditions de collectes, de stockage et de distillation sont rarement indiquées.

C'est dans ce contexte qu'une équipe de recherche multidisciplinaire française et malgache s'est saisie de cette problématique, avec l'appui du Ministère des Affaires étrangères français dans le cadre du projet FSP PARRUR : « **Optimisation de la qualité des produits du giroflier de Madagascar (clous et huiles essentielles) : étude des facteurs de leurs variabilités** ».

L'objectif est d'appréhender les sources de variabilité afin de les maîtriser et de proposer aux opérateurs (paysans, et collecteurs) des éléments pour optimiser la qualité des clous et des huiles essentielles de girofle produits à Madagascar. Six études ont été effectuées et publiées sous forme d'article international ou sous forme de mémoire de fin d'études.

Quelques mots sur les outils et sur la méthodologie

Les clous, feuilles et griffes sont collectés dans l'aire de distribution sur le littoral Est de Madagascar dans la région d'Analanjirifo. Dans l'ensemble des expérimentations, les clous, les feuilles et les griffes sont récoltés arbre par arbre afin d'avoir accès à la variabilité individuelle. L'ensemble des paramètres décrivant le « contexte de l'arbre » seront relevés.

L'extraction de l'huile essentielle est effectuée par hydrodistillation sur environ de 400 g de matière végétale fraîche, poids suffisant pour produire le volume d'huile essentielle nécessaire pour les analyses, dans un appareil de type Clevenger modifié. La distillation dure quatre heures après l'apparition de la première goutte de distillat à la sortie du tube de condensation de la vapeur. L'huile essentielle est séchée avec du sulfate de sodium anhydre et la teneur en huile essentielle, exprimée en ml du distillat par 100 g de matière sèche est calculée.

L'humidité journalière des échantillons est déterminée en utilisant une thermobalance type Sartorius MA 45, température réglée à 130°C, avec une perte en poids de 4 mg par 24 secondes. L'huile essentielle recueillie est stockée à 4 °C à l'obscurité avant toutes les analyses.



La détermination des caractéristiques physico-chimiques (densité, indice de réfraction) et des caractéristiques organoleptiques (aspect, couleur et odeur) est réalisée extemporanément¹.

Les huiles essentielles sont analysées par chromatographie en phase gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse (CPG/SM). Toutes les analyses des huiles essentielles par CPG/SM sont effectuées dans les laboratoires du CHTT ou dans le laboratoire de la maison de la technologie du CIRAD à Montpellier.

Un soin particulier est apporté aux analyses statistiques descriptives multidimensionnelles et comparatives. Les outils utilisés sont l'analyse en composantes principale (ACP) et la classification ascendante hiérarchique (CAH) basées sur teneurs des principaux composants.

Le giroflier à Madagascar

L'INTRODUCTION DU GIROFLIER À Madagascar

Le giroflier est un arbre originaire des îles Moluques en Indonésie. Son usage comme épice et plante aromatique est plurimillénaire ; il est mentionné dans des livres chinois d'avant l'ère chrétienne. Les produits du giroflier furent importés régulièrement en Europe dès le septième siècle (François, 1936 ; Maistre, 1964). Mais l'histoire moderne du girofle commence avec la découverte des îles Moluques en Indonésie par les Portugais et l'expédition commandée par Magellan. La première description du giroflier est donnée par Antonio Pigafetta dans son récit de voyage, « *navigation & découverte de l'Inde supérieure & îles de Malucque où naissent les clous de girofle, faite par Antonio Pigafetta, Vicentin et chevalier de Rhodes, commençant en l'an 1519* ».

Les Portugais détiennent le monopole du commerce de cette épice, jusqu'à ce que les Hollandais les chassant des Moluques, prennent l'hégémonie sur ce commerce au début du 17^e siècle (Maistre, 1964 ; Volper, 2011).

Afin d'empêcher toute concurrence possible, la production de clous de girofle fut concentrée sur l'île d'Amboine (Ambon) et les Hollandais tentèrent de détruire systématiquement les arbres des autres îles. Mais ce projet échoua, en partie grâce à la persévérance de Pierre Poivre, qui, pour le compte de la Compagnie des Indes, organisa plusieurs missions, entre 1772 et 1773, afin de rapporter et d'acclimater le girofle dans le Jardin des Pamplemousses à l'île de France (actuelle île Maurice). Ces arbres seront à l'origine des premières introductions à l'île Bourbon (La Réunion actuelle) et à Madagascar.

Concernant les premières introductions à Madagascar, deux versions sont proposées. Pour Campbell (2005), la première introduction date de 1803 et les premières cultures extensives de 1835 à Rianambo, près de Mahela, sous l'impulsion de Jean Laborde. Pour François (1936), Maistre (1955, 1964) et Volper (2011), les premiers plants furent installés dans l'île de Sainte Marie (au large de la Grande Terre) en 1827. Sainte-Marie est ainsi devenue le berceau historique de la giroflière malgache. Cependant la production de clous de girofle resta longtemps modeste (15 tonnes en 1880). Elle ne se développa sur la Grande Terre

qu'au moment de sa conquête par les Français, à partir de 1895. Cette culture pris rapidement un grand essor au point d'occuper beaucoup de terrains disponibles au détriment des cultures vivrières, dont la conséquence fut l'occurrence de disettes dans les zones giroflières (Tourneur, 1947a). Les plantations établies actuellement datent majoritairement des années 1920-1960 et constituent la base de la production actuelle de clous de girofle.

A partir des années 1920-1930, un second produit issu du giroflier émergea et se fit rapidement une place sur le marché international : l'essence de girofle (Ledreux, 1928, 1932 ; Maistre, 1955, 1936).

Aujourd'hui, Madagascar est parmi les premiers pays producteurs de clou de girofle et d'essence, et depuis les années 1990, le premier exportateur (Maistre, 1964 ; Teuscher *et al.*, 2005, INSTAT, 2012). Les produits du giroflier constituent en 2012 pour Madagascar la première exportation agricole en valeur devant la vanille et le litchi.

LE GIROFLE : UN ARBRE, DEUX PRODUITS

L'une des particularités du girofle, comparé à la majorité des plantes à épice, est de fournir deux produits d'intérêt économique majeur : les clous qui sont les boutons floraux et l'essence principalement produite par distillation des feuilles.

Quelques éléments de biologie de l'espèce

Le girofle (*Syzygium aromaticum* L., synonymes : *Caryophyllus aromaticus* L., *Eugenia aromatica* (L.) Baill., *Eugenia caryophyllata* Thunb., *Eugenia caryophyllus* (Spreng.) Bullock & S.G. Harrison) est un arbre de la famille des Myrtaceae. C'est une espèce caractéristique des régions de basses altitudes (0-300 m) au climat tropical humide sans saison sèche marquée, conditions réunies sur la côte orientale malgache (Maistre, 1964 ; De Haut de Sigy, 1967). Il est peu exigeant quant à la qualité des sols (François, 1934 ; Dufournet, 1968) et peut s'implanter sur des terrains qui ne conviennent pas au caféier (Castel, 1947). Il s'adapte très bien aux sols ferrallitiques tropicaux dessaturés mais n'aime pas les sols sableux. L'arbre a un houppier de forme conique (Photo 1A) et une hauteur moyenne de dix à douze mètres qui peut aller jusqu'à vingt mètres. Il a un feuillage persistant et coriace (Photo 1B).

Les fleurs à quatre pétales blancs rosés, caractérisées par leurs sépales rouges, sont rassemblées en cymes terminales de 20-25 fleurs, formant généralement trois fourches appelées « griffes » (François, 1934 ; Rabechault, 1955 ; Dufournet, 1968). La première floraison se produit à l'âge de 8-10 ans, mais il faut attendre que l'arbre atteigne vingt ans pour atteindre une pleine production (François, 1936 ; Maistre, 1955). Ce sont les boutons floraux non encore épanouis, appelés « clous », qui sont cueillis et séchés (Photos 1C et D).

La collecte des clous à Madagascar se fait entre octobre et janvier (Castel 1947 ; Duclos, 2012). Si la cueillette est trop tardive (au stade fleur), le produit est un « clou sans tête » de qualité inférieur (Castel 1947). Le fruit, appelé antofle, est une drupe à graine unique assez peu aromatique. Le giroflier n'a que peu d'ennemis connus. Le principal est « l'Andretra » (Photo 1E), chenille mineuse d'un lépidoptère, *Chrysotypus mabilianum* dont les premières attaques furent signalées en 1933 (Tourneur, 1947a).

¹ Extemporément : Qui n'a pas été préparé à l'avance.



Les dégâts sont importants bien que difficilement estimables et aucun moyen de lutte ou de prévention semblent avoir été mis en place durablement (Frappa 1954 ; Dubois et Ranaivosoa, 1966). Il faut noter aussi la sensibilité du giroflier aux vents, du fait de son feuillage dense et de son enracinement superficiel (Francois, 1936), alors que, paradoxalement, la zone giroflière malgache est particulièrement soumise aux cyclones (Donques, 1975 ; Ganzhorn, 1995).

Le clou : produit « historique » du giroflier

Les usages du clou de girofle sont variés. Le clou est aussi connu pour ses propriétés antiseptiques et anesthésiques, utilisées depuis très longtemps en dentisterie, en cosmétique et en parfumerie. C'est une épice utilisée dans de nombreuses cuisines orientales ou occidentales (ingrédients de la plupart des currys, du pain d'épices... ou de la choucroute). Ainsi, l'Europe et l'Inde sont parmi les importateurs de clous de qualité (Castel, 1947 ; FAOSTAT, 2013). Mais la majeure partie de la production mondiale (et donc malgache) de clou de girofle sert à la fabrication des kreteks, cigarettes traditionnelle indonésiennes composées d'un mélange de tabac et de clous (Francois, 1936 ; Duclos 2012). La qualité des clous utilisés pour cette production est de moindre importance. Cette cigarette est actuellement l'objet d'un bras de fer : les fabricants indonésiens de kreteks jouent sur les vertus antiseptiques du clou de girofle pour la présenter comme tout à fait anodine pour la santé alors que la grande industrie internationale du tabac tente actuellement de contrer la kretek pour imposer leurs produits (Hanusz, 2002 ; Lawrence et Collin, 2004 ; Arnez, 2009). Cependant, cet usage représente encore le principal marché pour le clou. Ruf (2000) estime qu'environ 75 % de la production mondiale de clous était dans les années 1980, destinée à la fabrication des kreteks.

La production de clous est très variable d'une année à l'autre, avec une alternance d'une bonne année de production de clous suivant une année moyenne et une mauvaise (Ledreux, 1932 ; Boiteau, 1936). Ramanantsoavina (1971) estime que l'amplitude de ces variations peut être de 1 à 7. Mais le déterminisme de ce phénomène d'alternance, très largement constaté, n'est pas actuellement établi (Maistre, 1964 ; Thankamani *et al.*, 1994).

L'essence de girofle : usages anciens et actuels

L'essence de girofle, est connue en Europe depuis le 16^{ème} siècle. L'intérêt de cette essence réside essentiellement dans sa richesse en eugénol (Briand, 1996). Cette molécule est connue pour ses propriétés antibactériennes (Suresh *et al.*, 1992 ; Fu *et al.*, 2007). L'essence de girofle est très utilisée en pharmacie, en médecine humaine et vétérinaire et par les dentistes pour ses propriétés antiseptiques, anesthésiantes et analgésiques (Parle & Khanna, 2011). Elle a servi de base à l'hémi-synthèse de vanilline (Tourneur, 1947b ; Briand, 1996). C'est aussi une base largement utilisée en parfumerie : Opium d'Yves Saint-Laurent ou Air du Temps de Nina Ricci (entre autres) contiennent des essences de girofle (Briand, 1996).

L'essence de girofle est essentiellement produite à partir de feuilles qui sont distillées, mais elle peut l'être aussi à partir de clous ou de griffes (Ledreux, 1932). Les rendements matières sont élevés pour les griffes (de 15 à 20 %) et moindre pour les feuilles (4 à 5 %) (Tourneur, 1947b). Les huiles essentielles de girofle peuvent contenir jusqu'à 90 % d'eugénol selon l'organe distillé ou le mode de distillation (Gopalakrishanan et Narayanan, 1988 ; Raina *et al.*, 2001 ; Srivastava *et al.*, 2007 ; Razafimanonjison *et al.*, 2013, 2014, 2016), l'essence de feuilles et de griffes étant la plus riche (Tourneur, 1947b).

Les déchets de distillation des feuilles peuvent servir de compost favorisant la croissance du taro ou des bananiers. Ils peuvent servir de substrat pour l'élevage d'un champignon comestible de grande qualité, *Volvaria volvacea* (Bouriquet 1941, 1946), mais cet usage semble aujourd'hui perdu.

La production d'essence est réalisée par distillation dans des alambics (Photo 2) implantés dans chaque village de la zone giroflière et mis en location par leurs propriétaires aux paysans qui souhaitent distiller. Leur nombre estimé est flou, mais certainement très élevé : entre 1000 et 2000 dans la région de Fénériver-Est, Vavatenina et Soanierana Ivongo pour l'année 1951 (Ramalanjaona et Jourdan, 1961).

Production de clou et d'essence : un compromis dans la gestion des arbres

A Madagascar, les girofliers sont conduits pour produire à la fois des clous et de l'essence. Cette gestion, plus ou moins raisonnée et contrôlée est largement répandue et constitue une spécificité forte de la giroflière malgache.

La production des clous s'oppose a priori à celle des feuilles pour la distillation, car pour récolter des feuilles, les collecteurs coupent les extrémités des branches à 30 ou 40 cm de long. Ce point est peu documenté, mais il semble qu'une coupe systématique et trop importante de feuilles pour l'extraction d'essence peut avoir une influence négative sur la production de clous : De Haut de Sigy (1967) a remarqué qu'en périodes de prix favorables à la production d'essence, une collecte trop importante de feuilles engendrait une baisse de production de clous l'année suivante. Cependant, une taille adaptée consistant à élaguer la partie sommitale des arbres tout en maintenant les rameaux moyens et bas pour la production de clous, semble permettre de concilier les deux productions sans impact négatif significatif sur la production de clous. Cette pratique donne au houppier des girofliers une forme caractéristique en plateau.

Cette pratique pourrait être un élément amplifiant l'irrégularité interannuelle constatée pour la production malgache de clous. Cette irrégularité de production de clous pourrait expliquer le choix de certains agriculteurs de valoriser plutôt le développement de feuilles pour la production d'essence qui permet un revenu régulier lié à une disponibilité des feuilles toute l'année et à une forte demande en eugénol sur le marché international, entraînant une augmentation des prix.

ÉVOLUTION DE LA GIROFLIÈRE MALGACHE

Dynamique géographique

L'extension de la zone de production du girofle à Madagascar s'est faite depuis Sainte-Marie (possession française depuis 1750) vers la Grande Terre après la colonisation de celle-ci par les Français, au début du 20^{ème} siècle. Cette extension s'est faite le long de la côte Est, région tropicale humide de basse altitude (Cornet, 1974) qui présente des contextes environnementaux adaptés à l'espèce. La zone giroflière s'étend aujourd'hui du nord au sud depuis Maroansetra jusqu'à Fort-Dauphin dans les régions Antsinanana, Analanjirofo (dont le nom signifie d'ailleurs « forêt de girofliers »), Vatovavy Fitovinany et Atsimo Atsinanana (Carte 1). Cependant, 90 % de la production de clous est concentrée dans la zone de Mananara, Fénériver-Est et Soanierana Ivongo (INSTAT, 2010). La production de Sainte-Marie est aujourd'hui anecdotique.

Évolution de la production malgache de clous et d'essence de girofle

L'histoire du giroflier à Madagascar peut être approchée par l'évolution des productions de clous et d'essence. Ces productions ont été assimilées aux exportations annuelles, ces produits étant exclusivement réservés aux marchés internationaux. L'analyse des courbes (Figure 1) fait apparaître une très large variation interannuelle de la production de clous, confirmant le constat des fortes alternances déjà signalées (Maistre, 1964). Mais au-delà de ces alternances, cette analyse permet de poser les hypothèses d'une périodisation dans le développement de la giroflière à Madagascar. Cette périodisation commence



avec le début du 20^e siècle, date à laquelle la production de girofle commence à devenir significative, même si quelques exportations semblent avoir été réalisées bien avant cette date, dès 1835 pour Campbell (2005). Six périodes ont pu être caractérisées par Danthu *et al.* en 2014 :

- La première période va de 1900 à 1929. L'extension de la giroflière est faible, estimée à 2 800 ha pour 1 600 tonnes de clous produits en 1929. La première vague de plantations est due à un soutien fort du pouvoir colonial (Brown, 2000). Ainsi François (1928) estime qu'un million de girofliers ont été plantés par de petits paysans malgaches dans le district de Mananara entre 1924 et 1926, sous l'impulsion de l'administrateur Ballot « qui s'est tout particulièrement attaché à la propagation des cultures indigènes ». Ce développement de la giroflière semble s'être parfois faite au détriment des cultures vivrières et en particulier du riz pluvial mais aussi des plantations de café (Tourneur, 1947). Cette période est aussi marquée par les premières distillations d'essence de girofle en 1911. Cette nouvelle pratique est liée d'une part à l'importation des premiers alambics à Madagascar (Ramalanjaona et Joudain, 1962 ; Dufournet, 1968) et d'autre part au fait que l'eugénol s'est révélé être un très bon plastifiant utilisé dans la fabrication des vernis des ailes d'avions, dont la guerre a décuplé la production (Gatefossé, 1921). Cependant la production d'essence reste modeste, la production annuelle étant toujours inférieure à 100 tonnes. Si les statistiques mentionnent les premières exportations d'essence de girofle en 1911, la production commence vraiment à se développer qu'à partir de 1920 (Tourneur, 1949b).
- La deuxième période, de 1930 à 1939, se caractérise par une augmentation significative des surfaces plantées en girofliers, qui passent de 2 000 ha en 1920 à 10 000 ha en 1938. Parallèlement, mais avec un temps de latence d'une dizaine d'années, la production de clous augmente passant de 2 800 tonnes en 1930 à 6 500 en 1938. La production annuelle d'essence progresse de 100 à 400 tonnes.
- La troisième période est brève. Elle est liée à la Seconde Guerre mondiale qui a entraîné des variations brusques des exportations de girofle. On observe une baisse significative des exportations (plutôt que de la production) de clous, entre 1939 et 1940, et une chute en 1942 (120 tonnes). De même la production d'essence de girofle devient quasi nulle : 2 tonnes en 1942 et 7 tonnes en 1943. Un redémarrage de la production est enregistré dès 1943, la production de clou atteignant alors entre 3 000 et 5 000 tonnes. Ces variations sont très liées à l'histoire de Madagascar. D'abord vichyste, l'île a subi un blocus de juin 1940 à fin 1942, puis est conquise par les Britanniques et les forces françaises libres à partir de janvier 1943, date de levée de ce blocus. Cependant le commerce du girofle reste mineur, comme ce fut le cas pour l'ensemble des productions coloniales destinées à l'exportation et non essentielle à l'effort de guerre (François, 1945 ; Castel, 1949). A noter que les exportations de 1946 et 1947 correspondent, en partie à un déstockage réalisé les années précédentes (Dufournet, 1968).
- La quatrième période va de 1946 à 1965. Elle correspond au plateau de production des plantations des années 1920. Par ailleurs, les superficies estimées passent de 22 000 ha en 1950 à 36 000 ha en 1960, ce qui correspond à la seconde grande vague de plantations. La production annuelle de clous oscille entre 3 000 et 7 000 tonnes, pour une moyenne de 4 750 tonnes, alors que celle de l'essence augmente régulièrement, passant de 500 tonnes en 1949 à plus de 1 000 tonnes. Le passage à l'Indépendance, en 1960, ne marque pas une rupture dans le développement giroflier, l'État malgache continuant à soutenir la filière. La recherche scientifique s'intéresse à l'espèce, comme le montrent les travaux importants de Maistre (1955, 1964), de Rabechault (1955) et de Ramalanjaona et Jourdan (1961) publiés à cette période.
- Durant la cinquième période, de 1965 à 2000, la production annuelle de clous oscille entre 4 000 et 15 000 tonnes, avec une moyenne de 10 500 tonnes et des pics de production de clous à 23 000 tonnes en 1974 et 17 000 en 1984. On estime à trois millions le nombre d'arbres potentiellement producteurs

(Ramanantsoavina 1971). Les superficies explosent dans les recensements malgaches, passant officiellement de 30 000 ha à 80 000 ha, mais ce gonflement des chiffres semble être plutôt une surestimation politique liée au contexte productiviste pendant de la période transitoire (1972-1975) puis socialiste (1975-1991). D'ailleurs, le retour à une surface estimée à 37 230 ha en 2005 suite à une réévaluation, confirme cette hypothèse. Il y eut toutefois des replantations au début des années 1970, avec la mise en œuvre de grands projets comme « L'opération café poivre girofle » de 1970/75 qui ont contribué à augmenter la production dans les années 1980 et 1990 mais aucun chiffre fiable n'est disponible. Durant cette période, et en particulier durant l'ère socialiste, le prix d'achat des clous aux paysans fut maintenu très bas par le gouvernement afin de favoriser la balance des paiements et compenser le déficit lié à l'importation de riz rendu nécessaire par le maintien du prix de vente de cette denrée de base artificiellement bas, entraînant une chute de la production rizicole. Un trafic d'exportation clandestin du girofle malgache s'organisa alors vers les Comores où les prix d'achat étaient plus élevés (Brown 2000). Depuis 1965, la production d'essence poursuit son essor, atteignant 2 000 tonnes en 2000.

- La dernière période va de 2001 à 2013. La production annuelle de clous oscille entre 8 000 et 19 000 tonnes, avec une moyenne de 11 500 tonnes. Nos enquêtes montrent une dynamique de replantation depuis les années 2000, mais on ne connaît pas l'importance de ce renouvellement, qui n'apparaît pas dans les statistiques agricoles. Le PPRR (Programme de Promotion des Revenus Ruraux) du FIDA a, par exemple, distribué, dans la région de Fénérive-Est environ 200 000 plants entre 2008 et 2010, et le CTHT, (Centre technique horticole de Tamatave), 160 000 plants entre 2009 et 2011, mais aucune mesure d'impact de ces projets n'a été faite. La dynamique de replantation n'est pas suffisamment connue pour savoir si elle a pu assurer le renouvellement de la ressource, alors que la figure 8 montre une baisse tendancielle de la production de clous pour cette période montrant l'effet conjugué du vieillissement des arbres, de l'effet du passage récurrent des cyclones et, possiblement, de la collecte excessive des feuilles au détriment de la production de clous. De fait, la production d'essence augmente très nettement, probablement lié à une augmentation des cours mondiaux qui connaissent un pic en 2011.

VALEUR ÉCONOMIQUE DU GIROFLE

Madagascar a exporté dans un premier temps (avant la Première Guerre mondiale) des produits d'extraction ou de cueillette (or, caoutchouc de forêts, raphia, cire...) (Campbell, 2005). A partir de 1913, l'île commença à exporter des produits agricoles ou issus de l'élevage : viande, peaux, café, vanille et girofle (Castel, 1947).

Place du girofle dans les exportations agricoles malgaches

Le Tableau 1 issu des travaux de Danthu *et al.* (2014) montre que le girofle (et ses deux produits, clou et essence) prend une part de plus en plus importante dans la valeur de ces exportations jusqu'à devenir la première source de rentrée de devises parmi les productions agricoles malgaches.

Le caoutchouc de forêts (avant l'arrivée sur le marché du caoutchouc d'hévéa des plantations asiatiques) et les peaux ont été les principales exportations malgaches jusqu'à la Première Guerre mondiale. La part du girofle était alors faible (1 % en valeur en 1910). Dans les années 1930, le café était de loin le principal produit exporté de Madagascar, suivi de la vanille et du girofle (qui a progressé à 4,4 % en 1938).



Enfin dans les années 2000, girofle et vanille dominent les exportations malgaches, loin devant le litchi, le sucre et le cacao. La part du girofle dans les exportations est de 19% pour l'année 2010 et de 25% pour 2012. L'augmentation régulière de la production (au moins jusque dans les années 2000) et la forte demande internationale, en clous comme en essence, ainsi que des prix élevés ont hissé le girofle à cette position dominante dans les exportations agricoles devenant ainsi une source majeure de revenu monétaire pour les populations rurales de la côte Est.

Tableau 1 : Place des produits du giroflier parmi les produits d'exportation de Madagascar
(Source : Danthu *et al.* 2014)

Année	Exportations totales des produits du giroflier (%)		Place des produits du giroflier parmi les exportations de ressource naturelle		Principales ressources naturelles exportées de Madagascar (%)
	Clou	Huile essentielle	Clou	Clous + Huile essentielle	
1899	0,2	-	8	-	or (31,2 %) - raphia (28,9 %) - caoutchouc (27,4 %)
1910	0,2	-	13	-	peau de bétail (21,6 %) - caoutchouc (21,3 %) - or (20,5 %)
1920	0,8	0,1	14	14	peau de bétail (19,8 %) - riz (11,7 %) - vanille (9,9 %)
1930	3,7	1,5	7	-	vanille (10,6 %) - pois du Cap (9,7 %) - café (9,4 %)
1938	4,4	1,3	6	3	café (31,7 %) - vanille (9,0 %) - peau de bétail (5,2 %)
1954	10,8	3,1	2	2	café (48,7 %) - vanille (5,2 %) - riz (4,0 %)
1966	2,4	1,6	10	5	café (31,5 %) - vanille (9,2 %) - extrait de viande (6,2 %)
2001	9,6	0,006	4	-	vanille (15,5 %) - coquillage (11,0 %) - pétrole (10,5 %)
2007	2,8	0,7	4	-	coquillage (10,1 %) - vanille (4,2 %) - pétrole (4,2 %)
2012	12,5	1	1	-	pétrole (6,8%) - coquillage (5,7%) - nickel (4,9%)

L'Indonésie premier producteur et importateur mondial, Madagascar premier exportateur

La production mondiale de girofle est actuellement dominée par trois pays : l'Indonésie, Zanzibar (incluant l'île de Pemba rattachée depuis 1964 à l'actuelle Tanzanie) et Madagascar. Viennent ensuite des pays mineurs comme les Comores ou Sri Lanka (Maistre, 1964 ; Martin, 1991 ; FAOSTAT, 2013 ; Danthu *et al.*, 2014) (Figure 2). Sur la période 2007/2011, la production annuelle indonésienne est en moyenne de 81 000 tonnes. Madagascar et Zanzibar arrivent ensuite avec une production annuelle d'environ 9 000 tonnes.

Ces deux pays sont les deux principaux exportateurs historiques de clous de girofle même si leur production actuelle est faible par rapport à celle de l'Indonésie.

En effet, l'Indonésie et son industrie de la krettek, est un grand consommateur de girofle. Pendant longtemps, la production indonésienne (inférieure à 10 000 tonnes jusque dans les années 1960) a été inférieure à sa consommation. Ce n'est que dans les années 1960/1970 que la production indonésienne a connu un boom passant à plus de 80 000 tonnes en moyenne à partir de 1985, devenant quasi auto-suffisante (Jahiel, 2011). Cependant une grande partie de la production de clous de Madagascar est encore aujourd'hui absorbée par le marché indonésien en transitant par le hub de Singapour qui réexporte la quasi-totalité de ses importations vers l'Indonésie. Toutefois la concurrence des grands groupes cigarettiers internationaux qui tentent de conquérir l'immense marché indonésien peut être, à moyen terme une cause de réduction des importations ce pays (Arnez, 2009).

Un petit flux de clou « épice » va vers les autres parties du monde et en particulier l'Europe (Maistre, 1964 ; FAOSTAT, 2013).

La domination de Zanzibar et de Madagascar sur le marché mondial du girofle est très ancienne puisque ces deux pays occupent les deux premières places sur le marché mondial du clou, avec 90 % des volumes échangés depuis le début du 20^e siècle (Maistre, 1964, Martin, 1991).

Entre 1900 et 1960, les exportations de Zanzibar furent régulièrement supérieures à celles de Madagascar (Danthu *et al.*, 2014) (Figure 3). La nette domination de Zanzibar s'explique par un rendement en clous de girofle bien supérieur à celui de la giroflière malgache : 640 kg/ha contre seulement 250 (FAOSTAT, 2010), cette différence étant principalement due au fait que les girofliers fleurissent deux fois par an à Zanzibar (une grande récolte de juillet à septembre et une petite de décembre à janvier) contre une seule fois à Madagascar (Castel, 1947 ; Dufournet, 1968) et que Zanzibar produit peu d'essence (Maistre, 1964).

Dans les années 1970/1990, l'un ou l'autre des deux pays occupait la place de premier exportateur. Mais à partir de 1990, les exportations malgaches augmentèrent alors que celles de Zanzibar suivirent une tendance à la baisse. Madagascar s'installa alors durablement comme premier exportateur mondial, avec des volumes annuels compris entre 10 000 et 15 000 tonnes. En 2009, l'importation mondiale de clous de girofle est d'environ 51 000 tonnes et est assurée à 30 % par Madagascar (Jahiel, 2010).

La production d'essences de girofle qui sert de base à l'extraction de l'eugénol est une spécificité essentiellement malgache et indonésienne. Les exportations indonésiennes ont dépassé 900 tonnes par an à trois reprises entre 1979 et 1982 alors que celles de Madagascar variaient entre 900 et 1 200 tonnes avec deux pics à 1 800 tonnes en 1984 et 1986 (Duclos, 2012). Les principales destinations sont la France (300-400 tonnes) et les USA (300-470 tonnes) et le reste est exporté en Indonésie où est extrait l'eugénol qui est ensuite réexporté en Europe ou aux États-Unis. L'Indonésie est ainsi devenue le premier importateur d'essence de girofle et le premier exportateur d'eugénol, Madagascar étant le premier exportateur d'essence de girofle. A noter que la demande mondiale en essence de girofle est estimée à 5 000 tonnes, largement supérieure à la production. Cette filière représente donc une belle potentialité d'avenir pour les producteurs malgaches (Duclos, 2012).



Variabilités des huiles essentielles de girofle

Les paragraphes suivants traitent des différents facteurs qui peuvent être à l'origine de la variabilité chimique rencontrée dans les huiles essentielles (HE) de girofle.

INFLUENCE DE LA PARTIE DE LA PLANTE EXAMINÉE (CLOUS, FEUILLES ET GRIFFES)

L'objectif de cette étude est de comparer la composition chimique des HE de clous, de feuilles et de griffes. Les échantillons utilisés ont été obtenus auprès des compagnies exportatrices d'huiles essentielles de girofle. (Tableau 2).

Tableau 2 : Origine et nombre d'échantillon d'huile essentielle

Pays	Matériel végétal			
	Clou	Feuille	Griffe	
Madagascar	39	28	27	
Indonésie	6	4	2	
Zanzibar	-	-	15	
Total	45	32	44	121

L'ACP (Figure 4) a permis de distribuer les 121 échantillons en trois groupes (Tableau 3) :

- Le groupe 1, constitué de 45 échantillons d'HE de clous, est caractérisé par une faible teneur en eugénol (72,08 - 82,36 %) et une forte teneur en acétate d'eugényle (8,61 - 21,32 %) ;
- Le groupe 2, composé de 32 échantillons d'HE de feuilles, est caractérisé par une teneur en eugénol comprise entre 75,04 et 83,58 % et par une teneur élevée en β -caryophyllène, comprise entre 11,65 et 19,53 % ;
- Le groupe 3, constitué de 44 échantillons d'HE de griffes, est caractérisé par un fort pourcentage en eugénol (87,52 - 96,65 %).

Nos résultats montrent que les organes de la plante (clous, feuilles et griffes) sont des facteurs qui influencent de façon significative la composition chimique des HE. Il est donc possible d'utiliser les teneurs en eugénol, en acétate eugényle et en β -caryophyllène pour différencier les HE extraites du giroflier.

INFLUENCE DE L'ORIGINE GÉOGRAPHIQUE

Huiles essentielles de clous provenant de Madagascar et de l'Indonésie

L'ACP de la Figure 5 des données chimiques des 45 échantillons met en évidence deux groupes (Tableau 4) :

- Le groupe 1 rassemble 39 individus provenant de Madagascar dont les HE sont caractérisées par une faible teneur en eugénol (72,08 - 80,71 %) et en β -caryophyllène (2,76 - 6,38%) mais avec une forte teneur en acétate d'eugényle (11,68 - 21,32 %).
- Le groupe 2 est constitué par 6 échantillons provenant de l'Indonésie. Dans ce groupe, la teneur en eugénol, en β -caryophyllène et en acétate d'eugényle est respectivement de 77,32 - 82,36 % ; 5,34 - 8,64 % et 8,61 - 10,55 %.

Huiles essentielles de feuilles provenant de Madagascar et de l'Indonésie

L'ACP (Figure 6) a permis de distribuer les 32 échantillons en deux groupes (Tableau 5) :

- Le groupe 1, constitué de 28 échantillons de Madagascar, est caractérisé par une forte teneur en eugénol (80,87 - 83,58 %).
- Le groupe 2, composé de 4 échantillons provenant de l'Indonésie, est caractérisé par une faible teneur en eugénol (75,04 - 83,58 %).

Huile essentielle de griffes provenant de Madagascar, de l'Indonésie et de Zanzibar

L'ACP (Figure 7) a permis de distribuer les 44 échantillons en deux groupes (Tableau 6) :

- Le groupe 1, constitué par les 27 échantillons de Madagascar est caractérisé par la forte teneur en eugénol (91,81 - 96,65 %) et une faible teneur en β -caryophyllène (1,66 - 4,48 %).
- Le groupe 2, composé par les 2 échantillons de l'Indonésie et 15 échantillons de Zanzibar est caractérisé par un faible pourcentage en eugénol (87,52 - 89,76 %) et une forte concentration en β -caryophyllène (7,40 - 9,70 %).

Le constituant majoritaire des HE de **clous** de Madagascar et de l'Indonésie est l'eugénol. Ce constituant est commun dans les HE de clous provenant de Madagascar et de l'Indonésie mais on observe une différence sur les teneurs en acétate d'eugényle et en β -caryophyllène.

La comparaison de la composition chimique des HE de **feuilles** de Madagascar avec celle de l'Indonésie montre une variation des teneurs en eugénol, en β -caryophyllène et en acétate d'eugényle.

Les constituants majeurs des HE de **griffes** provenant Madagascar, de l'Indonésie et de Zanzibar sont l'eugénol et le β -caryophyllène.

Une distinction de la teneur en eugénol et en β -caryophyllène a été montrée mais nos analyses ne permettent pas cependant de caractériser formellement les HE selon les origines géographiques des échantillons.



EFFETS DES STADES PHÉNOLOGIQUES SUR LES HE DE CLOUS DE GIROFLE DE Madagascar

La variation du rendement et de la composition chimique des HE de clous girofle de Madagascar est évaluée en fonction des différents stades phénologiques (Photos 3, Tableau 7) : date de collecte et caractéristiques physiques des clous de girofle (couleur, longueur, poids sec et taux d'humidité).

Tableau 7 : Stades phénologiques, date de collecte et les caractéristiques physiques des clous de girofle

Code	Stades phénologiques	Date de collecte	Couleur clou	Longueur (mm/clou)	Poids (mg/clou)	Humidité (%)	Code Ech
A	Bourgeon initial	Juillet 2012	Verte claire	5,88±1,43 a	13,23±6,15a	47,63±1,04 a	A1, A2, A3
B	Bourgeon 1	Août 2012	Verte	6,18±1,47 a	13,68±7,01 a	48,23±2,56 a	B1, B2, B3
C	Bourgeon 2	Septembre 2012	Verte foncée	10,75±1,06 b	41,97±9,66 b	53,47±1,83 b	C1, C2, C3
D	Bourgeon 3	Octobre 2012	Jaune pâle	13,31±1,20 c	61,23±12,98 c	57,57±1,01 c	D1, D2, D3
E	Bourgeon final	Novembre 2012	Jaune orangé	17,80±0,93 d	83,81±8,49 c	70,64±0,83 d	E1, E2, E3
F	Floraison	Décembre 2012	Rose rouge	21,45±0,91 e	334,55±20,90 d	71,48±1,06 e	F1, F2, F3
G	Fructification initial	Janvier 2013	Rouge	24,38±1,74 f	449,95±29,85 e	74,63±0,82 f	G1, G2, G3
H	Fructification final	Février 2013	Rouge	25,93±2,49 g	531,13±32,72 f	79,56±0,95 g	H1, H2, H3

La variation du rendement et la composition chimique des HE de clous de girofle suivant les huit stades phénologiques montrent une grande différence au niveau de la teneur en eugénol et en acétate d'eugényle. Selon nos résultats, le meilleur moment de récolter les clous pour leur extraction en HE est au stade de bourgeon final qui donne à la fois, un meilleur rendement et une haute teneur en eugénol. Ces résultats confirment les connaissances des paysans et des exploitants qui collectent les clous de girofle à ce stade phénologique.

Le rendement en HE varie de 2,52 à 17,94 ml par 100 g de matière sèche, atteignant un maximum au stade de bourgeon final (clou en pleine maturité) et diminue rapidement pour atteindre le minimum au stade de fructification final (Figure 8).

L'eugénol et l'acétate d'eugényle sont les composants majoritaires. La teneur en eugénol augmente en fonction des différents stades phénologiques. Elle est au minimum au stade de bourgeon initial (39,66 %) et évolue pour atteindre le maximum au stade de fructification final (94,89 %). La teneur en acétate d'eugényle est au maximum au stade de bourgeon initial (56,07 %) et diminue rapidement pour atteindre le minimum au stade de fructification final (2,01 %) (Tableau 8).

L'ACP (Figure 9) a permis de distribuer les 24 échantillons d'HE de clous de girofle en deux groupes (Tableau 8) :

- Le groupe 1 rassemble tous les échantillons des stades du bourgeon initial au stade de bourgeon 3 (A1 - A3, B1 - B3, C2 - C3, D1 - D3) qui sont caractérisés par une faible teneur en eugénol (39,66 - 52,13 %) et une forte teneur en acétate d'eugényle (56,07 - 44,00 %).

- Le groupe 2, caractérisé par une forte teneur en eugénol (87,78 - 94,89 %) et une faible teneur en acétate d'eugényle (10,68 - 2,01 %) rassemble les échantillons de tous les autres stades, du bourgeon final à la fructification finale (E1 - E3, F1 - F2, G1 - G2, H1 - H2).

EFFETS DES STADES DE DÉVELOPPEMENT SUR LES HE DE FEUILLES DE GIROFLE DE Madagascar

Les HE de feuilles de girofle sont caractérisées en fonction de quatre stades de développement (Photo 4). Les détails sur les différents stades de développement, la date de collecte et les caractéristiques physiques (couleur, longueur et taux d'humidité) des feuilles de girofle sont résumés dans le tableau 9.

Tableau 9 : Stades de développement, date de collecte et les caractéristiques physiques des feuilles de girofle

Code stade	Stades de développement	Date de collecte	Couleur	Longueur (cm/feuille)	Humidité (%)	Code Ech
A	Jeunes feuilles	Juillet 2012	Rouge	3,4±1,3 a	47,6±1,0 a	A1, A2, A3, A4, A5
B	Epanouissement stade 1	Septembre 2012	Rose	7,5±1,4 b	48,2±2,5 a	B1, B2, B3, B4, B5
C	Epanouissement stade 2	Novembre 2012	Vert pâle	9,6±1,1 c	53,4±1,8 b	C1, C2, C3, C4, C5
D	Feuilles Matures	Janvier 2013	Vert foncé	12,5±1,0 d	57,5±1,0 c	D1, D2, D3, C4, C5

Le rendement maximum (5,06 %) en HE est obtenu à partir des jeunes feuilles et le minimum (3,79 %) est détecté sur les feuilles matures (Figure 11).

En considérant les 4 constituants identifiés sur CPG/SM, l'ACP a permis de distribuer les 20 échantillons d'HE en 3 groupes (Tableau 10) :

- Le premier groupe, composé par les échantillons de jeunes feuilles est caractérisé par une faible teneur en eugénol (25,43 - 30,38 %) et par une forte teneur en acétate d'eugényle (61,44 - 65,52 %).
- Le second groupe rassemble les échantillons de feuilles en épanouissement au stade 1 dont la teneur en eugénol et en acétate d'eugényle est respectivement de 58,29 - 61,53 % et 26,67 - 32,65 %.
- Le troisième groupe, formé par les échantillons de feuilles en épanouissement au stade 2 et ceux des feuilles matures, est caractérisé par une forte teneur en eugénol (84,00 - 90,48 %) et une faible pourcentage en acétate d'eugényle (0,36 - 7,16 %).

La variation du rendement et la composition chimique des HE de feuilles de girofle suivant les quatre stades de développement montre une grande différence au niveau des teneurs en eugénol et en acétate d'eugényle. Selon nos résultats, le rendement et la teneur en eugénol sont à l'optimum au stade d'épanouissement 2 et au stade des feuilles matures.



EFFET DE SÉCHAGE SUR DES HE DE FEUILLES DE GIROFLIER DE Madagascar

L'effet de séchage à l'ombre a été également évalué sur le rendement et la composition chimique des HE de feuilles de giroflier afin d'optimiser la production. Le séchage a été réalisé dans les couloirs du laboratoire durant 15 jours en étalant la matière première en fines couches et en la retournant fréquemment.

L'analyse de la Figure 12 montre qu'au cours de séchage, la teneur en eau diminue progressivement de 54,78 % à 11,42 % puis devient plus ou moins constante.

Trois phases de séchage ont été identifiées :

- Phase I : du début du séchage jusqu'au troisième jour ;
- Phase II : 4^e jour au 7^e jour ;
- Phase III : 8^e jour au 15^e jour.

La Figure 13 représente la variation de la teneur en HE en fonction du temps du séchage. Le rendement augmente en fonction du séchage puis chute pour se stabiliser à partir de huitième jour de séchage. L'augmentation de la teneur en HE pendant les premiers jours de séchage est proportionnelle à la diminution du taux d'humidité. Le maximum de la teneur en HE est obtenu au sixième jour (5,58 ml par 100 g de MS).

Tableau 11 : Evolution de la teneur en composants majoritaires des huiles essentielles de feuilles de giroflier durant le séchage

Nombre de jour de séchage	β-caryophyllène		Oxyde de caryophyllène		Eugénol		Acétate d'eugényle	
0	6,33	±0,90	0,81	±0,09	87,25	±0,94	3,86	±1,49
1	6,84	±0,65	0,87	±0,06	87,03	±0,89	3,32	±0,41
2	7,19	±0,43	0,90	±0,04	88,16	±0,76	2,01	±0,44
3	6,72	±1,93	0,83	±0,16	89,75	±1,48	1,43	±0,37
4	8,33	±0,60	1,06	±0,03	87,74	±0,97	1,52	±0,23
5	6,74	±0,84	0,85	±0,08	89,93	±0,92	1,03	±0,07
6	7,00	±1,04	0,88	±0,09	88,80	±1,44	3,04	±0,19
7	7,17	±1,23	0,75	±0,15	87,73	±0,43	3,99	±1,51
8	7,53	±1,69	0,65	±0,27	89,47	±0,82	1,74	±1,50
9	6,92	±2,37	0,86	±0,38	90,05	±0,83	1,61	±1,80
10	6,81	±1,40	1,57	±0,50	88,78	±0,89	2,19	±1,68
11	6,21	±1,03	0,57	±0,28	90,17	±0,24	2,00	±0,07
12	5,96	±0,14	1,55	±0,21	88,61	±0,55	2,86	±0,44
13	5,31	±1,01	1,61	±0,29	88,25	±0,10	3,81	±1,00
14	6,93	±1,49	1,93	±0,77	88,63	±0,63	1,57	±0,45
15	7,01	±0,08	1,47	±0,25	88,44	±0,64	1,97	±0,73

La concentration en HE est à son maximum avec un niveau d'humidité d'environ 17 % correspondant à une durée de séchage optimale entre 6 et 8 jours.

Les analyses sur chromatographie en phase gazeuse des 75 échantillons de feuilles de giroflier ont permis d'identifier les quatre composants majoritaires que sont : eugénol, β-caryophyllène, acétate eugényle et oxyde de caryophyllène (Tableau 11). La déshydratation des feuilles semble ne pas avoir d'impact sur la composition chimique des HE des feuilles fraîches ou séchées après 15 jours. La teneur en composants majoritaires reste approximativement stable.

Cette étude montre que la teneur en HE de feuilles de giroflier varie significativement en fonction de la durée de séchage. La meilleure concentration (5,58 ml par 100 g de MS) est obtenue au sixième jour de séchage sans que la composition chimique ne soit affectée de manière notable. Pour une exploitation industrielle, il convient donc d'extraire l'HE des feuilles de giroflier environ une semaine après leur récolte, puisque la teneur en HE serait à son maximum. Au-delà de cette période, les feuilles perdent quantitativement et qualitativement leurs HE.

ÉTATS ET ANALYSES CRITIQUES DE LA PRATIQUE ACTUELLE DE LA DISTILLATION PAYSANNE

Matières premières

Les matières premières sont composées par l'eau, le combustible et les feuilles de giroflier :

L'eau : Elle est nécessaire dans la cucurbitte et le réfrigérant. Sa qualité n'a aucune importance, à condition toutefois qu'elle soit suffisamment limpide. Par contre, une grande quantité d'eau est nécessaire à la réfrigération. La présence d'un ruisseau ou une source abondante conditionne donc l'emplacement de l'alambic dans la zone à girofliers.

Le combustible : Le chauffage de l'alambic est assuré par la combustion du bois. Les bois de chauffe sont transportés le plus souvent à dos d'homme d'une distance variant de 1 à 2 km de l'alambic. Les distillateurs utilisent tous types de végétaux ligneux (bambou, albizzia, giroflier, caféier, litchier, gliricidia...).

Les feuilles de giroflier : Elles sont en réalité des rameaux constitués plus ou moins de branchettes. La collecte des feuilles s'effectue à l'aide d'une sorte de coupe-coupe appelée localement « boriziny ». Les parties sectionnées sont les branchages de la cime des girofliers. Les rameaux sont assemblés en fagots de 15 à 20 kg à l'aide d'une ficelle. Les fagots sont amenés à proximité de l'alambic, disposés sur une aire découverte et attendent leur tour d'être distillés.

Alambic traditionnel

L'HE est extraite par distillation des feuilles. Le procédé de distillation est un entraînement des substances par la vapeur d'eau dans un alambic qui est ensuite liquéfiée pour donner le distillat (Photo 5A). Les alambics sont plus moins perfectionnés selon les moyens de leurs propriétaires mais sont, en général, assez simples. Le modèle le plus courant est du type « Deroy », à feu nu, à cucurbitte reliée par un col de cygne au refroidisseur cylindrique. La base de la cucurbitte est placée dans un fourneau de pierres liées à la glaise. Le refroidisseur



est suffisamment surélevé pour permettre le retour par gravitation des eaux florales à la cucurbitte. La capacité de celle-ci varie de 900 litres jusqu'à 1 500 litres, la dimension la plus répandue étant voisine de 1 000 litres.

Le foyer : Il est élaboré de façon simple et rudimentaire (Photo 5B). Les bois de chauffe sont posés directement au sol. La plupart des flammes sont à l'extérieur et les gaz chauds lèchent à peine le fond de la cuve et sont aussitôt évacués. La mauvaise conception de la cheminée de tirage de fumée et de feu entraîne la présence de fumée dans l'atelier de distillation et l'augmentation du temps d'apparition de la première goutte de distillat et par conséquent la consommation excessive de combustible.

La cuve ou cucurbitte : La plupart des cuves ont une capacité de 1 000 litres. L'ensemble de la cuve est en aluminium avec une épaisseur entre 1 mm et 1,5 mm. Le fond de la cuve est toujours en fer avec une épaisseur entre 2 mm à 2,5 mm. L'assemblage de la cuve et du fond est assuré par des simples rivets. A l'ouverture s'amorce une gouttière en « V » destinée à former le joint avec le chapiteau (Photo 5C).

L'étanchéité de la cuve avec le chapiteau est assurée par bourrage dans les interstices des pourritures de fibres de bananiers (Photo 5D).

Le fond de la cuve en fer étant trop épais, le temps d'ébullition de l'eau et l'apparition de la première goutte de distillat sont trop long. Cela entraîne en conséquence une consommation excessive de combustible. L'étanchéité de la cuve avec le chapiteau est très relative puisque des fuites de vapeurs sur le joint en pourritures de fibres de bananiers sont fréquemment remarquées.

Parfois, les feuilles et l'eau sont en contact direct avec le fond de la cuve. Si le distillateur ne fait pas attention, la cuve et les feuilles pourraient être grillées ce qui affecterait le rendement et la couleur de l'huile obtenue (noirâtre).

Le chapiteau : Il est généralement de forme conique. L'ensemble est constitué en aluminium avec une épaisseur entre 1 mm et 1,5 mm. L'orifice supérieur du chapiteau est légèrement évasé de façon à ce que le tuyau du col de cygne vienne s'y emboîter. L'étanchéité du chapiteau et du col de cygne est très relative. Elle est cependant assurée par bourrage dans les interstices des pourritures de fibres de bananiers.

Col de cygne : C'est le tuyau reliant le chapiteau et le condenseur. Il est généralement en tôle galvanisée ou en aluminium. La jonction entre le col de cygne et le condenseur est toujours assurée par le bourrage dans les interstices des pourritures de fibres de bananiers (Photo 5E). L'inclinaison du col de cygne est insuffisante, des gouttes d'HE s'y condensent, au début de la distillation et même après, et sont difficilement chassées.

Le condenseur : D'une hauteur de hauteur est de 75 cm, il est généralement en aluminium et constitué par un anneau cylindrique de 32 cm de diamètre extérieur et de 15 cm de diamètre intérieur. Il est muni à l'intérieur de quatre chambres de détentes horizontales laissant un jeu de 2 mm avec la paroi. A la base se situe un tuyau qui évacue l'eau et l'HE condensées. Le condenseur est plongé dans un fût en fer de capacité de 200 litres faisant fonction de réfrigérant (Photo 5F). La circulation de l'eau dans le réfrigérant est toujours à co-courant (circulation dans le même sens avec l'entrée et la sortie de l'eau en haut du fût). La surface de réfrigération de la condensation étant faible, l'eau sortant du fût est très chaude. Indépendamment de la perte en huile que cette température peut entraîner par vaporisation du condensat, la vitesse et le retour des eaux florales dans la cucurbitte sont insuffisants.

L'essencier : Il permet la séparation de l'HE et les eaux florales (Photo 5G). Il est constitué par deux seaux en plastique de capacité de 15 et 5 litres.

Conduite de distillation

Le chargement de la cucurbitte commence une fois que les deux matières premières, feuilles et bois de chauffe, sont réunies. Les brindilles feuillues sont placées et tassées par piétinement dans la cucurbitte et recouvertes d'eau d'environ 300 litres (Photo 5H). On compte 180 à 240 kg de feuilles, soit douze à quatorze fagots pour une capacité de 1 000 litres de l'alambic. La chauffe commence lentement au début pour éviter les coups de feu. La distillation dure 24 heures.

TYPOLOGIE DES ALAMBICS

Distribution des alambics et échantillonnage

Il s'agit de rassembler dans un même groupe des alambics qui ont produit des HE de qualité voisine. D'un alambic à un autre, chaque distillation est inspectée depuis la préparation des matières premières jusqu'à ce que l'essence soit conditionnée dans son emballage de transport. Les faits marquants sont rigoureusement notés. A la fin de chaque opération, un échantillon de 30 ml d'HE acheté au producteur est conservé dans des flacons en verre ambré. La collecte des échantillons s'est effectuée dans 14 des 18 Fokontany d'Ambatoharanana (Tableau 12) et couvre 50 des 129 alambics identifiés. La collecte est associée à l'enregistrement du rendement à l'extraction, des caractéristiques techniques de l'alambic et des paramètres liés à la conduite de distillation.

Située sur le littoral Centre-Est de Madagascar, Ambatoharanana fait partie du District de Fénérive Est, dans la région Analanjirofo. Elle est localisée entre le 17°12' et 17°25' de latitude Sud (S) et le 49°12' et 49°20' de longitude Est (E). Son chef lieu, situé au (17°18' S ; 49°18' E) se trouve à une vingtaine de kilomètres au Nord-Ouest de Fénérive-Est. Elle est limitée à l'Est par les communes rurales d'Ampasina Maningory et d'Ambodimanga II, au Nord par la commune rurale de Vohipeno, à l'ouest par la commune rurale de Vohilengo et au Sud par le District de Vavatenina (Carte 2).

La carte 3A montre la position géographique des 50 alambics avec lesquels ont été prélevés les échantillons. La carte 3B représente quant à elle l'ensemble des 129 alambics identifiés dans la Commune d'Ambatoharanana. La densité moyenne revient donc à 1,5 alambic par kilomètre carré. Le faible nombre d'alambics de la zone Sud et Sud-ouest est lié aux problèmes d'eau. Contrairement à la partie Nord, ces zones sont caractérisées par des nappes phréatiques trop basses pour permettre l'exploitation de l'eau à la distillation.

La commune Ambatoharanana est constituée uniquement d'alambics traditionnels. Ces alambics sont tous équipés d'un col de cygne et d'un condenseur en aluminium. Les essenciers sont constitués par des seaux en plastique. La paroi de la cucurbitte est fabriquée généralement avec des feuilles d'aluminium ou parfois, en fer et cuivre (Figure 14). Le fond de la cuve est toujours réalisé avec du fer galvanisé de 4 mm d'épaisseur, voire plus. Les matériaux de fabrication du chapiteau et de la cucurbitte constituent les seuls éléments discriminatifs distinguant un alambic d'un autre. Les alambics traditionnels sont implantés près d'un point d'eau dirigeable à proximité des parcs à giroflier. Pour fonctionner correctement, les alambics ont besoin d'une importante quantité d'eau indispensable non seulement à la cuisson mais aussi à l'alimentation continue du système de réfrigération.



Tableau 12 : Liste des échantillons par Fokontany

N°	FOKONTANY	VILLAGES	CODES	NOMBRE ECH
1	AMBATOHARANANA		AMB	4
2	LOHARIANA		LHR	3
3	AMBODIHAZININA		AHZ	7
4	AMBODIVOHITRA	Ambodivohitra	ABV	4
		Marovanihy	MRV	1
		Tsaratampona 2	TSR	3
		Andratambe	ADR	3
5	SOBERAKA	Ambolomadinika	ABL	2
		Sahavolo	SHV	1
		Ambodiovitra	ABO	1
		Antanankoro	ATK	1
		Manaratsandry	MNR	1
6	AMBODIHASINA		ABH	2
7	TSARATAMPONA I		TST	7
8	MANAKAMBAHINY		MKB	3
9	AMBODIAFOMENA		AFM	1
10	AMBOHIMANARIVO		AMN	1
11	AMBODIMANGA MAHALENA		ABM	1
12	AMPIRANAMBO II		APR	1
13	MANGOANDRANO		MGD	2
14	BEAMPY		BAP	1
				50

Classification des alambics en fonction de la composition chimique des HE produites

Le rendement varie entre 1,75 % et 3,40 % avec une moyenne de 2,39 %. La figure 15 affiche les variations du rendement qui sont perceptibles même au niveau d'un même alambic (ABH9, AHZ4, AHZ7, AMB2). Il est donc clair que la fluctuation du rendement ne peut pas être attribuée entièrement à l'alambic.

Cinquante échantillons d'HE sont pris sur les 50 alambics traditionnels. L'ensemble des résultats des analyses chromatographiques met en évidence les 4 composants principaux que sont l'eugénol, le β -caryophyllène, l'oxyde de caryophyllène et l'acétate d'eugényle. Le coefficient de variation élevé dans l'ensemble des composants indique une assez grande hétérogénéité (Tableau 13).

Des analyses statistiques sont effectuées pour mettre en évidence cette variabilité des composants majoritaires identifiée par les analyses chromatographiques. Les ACP et CAH de la Figure 16 énoncent trois types d'alambics correspondant à trois profils chimiques.

Tableau 13 : Pourcentage relatif des composants majoritaires

	β -caryophyllène	Oxyde de caryophyllène	Eugénol	Acétate d'eugényle
Min	8,4	1,0	74,0	0,4
Max	19,7	2,2	87,4	3,9
Moy	14,5	1,6	81,1	1,5
CV (%)	14,0	13,8	3,54	53,3

La désagrégation des individus se fait généralement suivant l'axe F1. Cet axe oppose les individus nettement plus riches en eugénol avec ceux marqués par des teneurs élevées en β -caryophyllène et oxyde de caryophyllène. L'axe F2 décompose les individus de chaque type suivant la teneur en acétate d'eugényle. La figure 16 montre la répartition géographique des individus composant chaque type :

- Alambics de TYPE 1 : les alambics de type 1 sont constitués par 20 échantillons les plus riches en eugénol (83,77 %). En revanche, les autres composants sont à des concentrations plus basses avec des moyennes de β -caryophyllène, d'acétate d'eugényle et d'oxyde de caryophyllène respectivement de 12,67 %, 1,21 % et 1,39 % (Figure 17) ;
- Alambics de TYPE 2 : Ces 19 alambics ont fourni des HE dont la composition chimique globale est voisine de la moyenne générale de la population (Figure 17) ;
- Alambics de TYPE 3 : Il regroupe 11 alambics qui produisent des HE dont la teneur en eugénol est la plus basse de toute la population. Le β caryophyllène, l'acétate d'eugényle et l'oxyde de caryophyllène se trouvent par contre à des concentrations largement supérieures à la moyenne générale (Figure 17).

La classification ascendante hiérarchique confirme les trois types d'alambic établis en l'ACP. Dans les trois classes 1, 2 et 3 sont repartis 20, 19 et 11 individus. Ces classes correspondent respectivement aux types 1, 2 et 3 de l'ACP. La figure 16 restitue le dendrogramme de classification.

Suivi de cuissons

Cette opération a comme finalité de déterminer si chaque groupe d'alambics identifié produit des HE de qualité stable. Elle est mise en œuvre par une surveillance individuelle des processus de production. Les alambics isolés des groupes formés sont évalués sur plusieurs cuissons successives. Les HE qui en résultent sont analysées au CPG et les résultats sont soumis à un test d'homogénéité utilisant la statistique multidimensionnelle. A l'issue du test d'homogénéité, si les essences du même alambic sont chimiquement identiques, les alambics considérés produisent donc des HE de qualité stable. Dans le cas contraire, d'autres variables doivent être considérées dans le but d'avancer d'autres sources probables des variabilités.

Le suivi, exécuté sur 6 alambics, a permis d'obtenir 18 échantillons. L'objectif est de comparer la composition chimique des échantillons recueillis durant les suivis. Les alambics AHZ4, LHR3, AMB2, AMB3, AHZ7 et ABH9 produisent des HE de qualité chimique stable si les échantillons résultant des cuissons successives se trouvent assemblés dans le même groupe. Le tableau 14 résume les références des alambics suivis, les échantillons recueillis et le nombre des cuissons considérées.



Tableau 14 : Références des alambics suivis, les échantillons recueillis et le nombre des cuissons

Type d'alambic	Alambics	Nb de cuissons suivies par alambic	Code
1	AHZ4	3	AHZ4A, AHZ4B, AHZ4C
	LHR3	2	LHR3A, LHR3B
	AMB2	4	AMB2A, AMB2B, AMB2C, AMB2D
2	AMB3	3	AMB3A, AMB3B, AMB3C
3	AHZ7	3	AHZ7A, AHZ7B, AHZ7C
	ABH9	3	ABH9A, ABH9B, ABH9C

L'ACP a permis la répartition des individus en 3 groupes (Figure 18) :

- Tous les échantillons (LHR3A, LHR3B, AMB2A, AMB2B, AMB2C, AMB2D) issus de l'alambic LHR3 et AMB2 s'agglomèrent dans le groupe 2. Cela signifie que ces alambics ont fourni des HE de qualité similaire.

Les échantillons issus des autres alambics (AMB3, AHZ4, ABH9 et AHZ7) se sont éparpillés à travers les 3 groupes. Pour l'alambic AHZ4 par exemple, les trois échantillons AHZ4A, AHZ4B et AHZ4C sont respectivement agencés dans les groupes 1, 2 et 3. Seuls, 2 des 6 alambics évalués ont produit des essences de qualité voisine.

Il a été démontré durant le suivi que les alambics en soi ne garantissent pas l'obtention d'une HE standardisée.

Les caractéristiques quantitatives et qualitatives de l'HE de feuilles de giroflier ne peuvent donc être dissociées de l'association objective entre la matière première, la conduite de distillation et la configuration matérielle de l'alambic.

Le rendement dépend de la conduite de distillation et de la puissance de chauffe. Un puissant chauffage permet en effet, dans un bref délai, d'épuiser les matières premières de ses réserves aromatiques. Le matériel de fabrication de l'alambic tient également un rôle non négligeable, le meilleur rendement étant obtenu sur des alambics fabriqués exclusivement en aluminium.

La composition chimique varie en fonction de la puissance de chauffe et la conduite de distillation :

Une cuisson brève est affiliée à des produits pauvres en eugénol mais riches en d'autres éléments. L'eugénol étant plus dense que tous les autres composants chimiques, concentrer l'HE en eugénol requiert donc beaucoup plus de temps. La puissance de chauffe agit sur la composition chimique globale. Le ramollissement de la matière première favorise la libération de tous les principes volatiles. En plus, un chauffage poussé augmente le flux de vapeur transportant les molécules aromatiques libérées.

Les matériels de fabrication peuvent influencer la composition chimique en général et la teneur en eugénol en particulier. L'eugénol ayant réagi avec les métaux pour former l'eugénate de métal est irrécupérable au niveau des distilleries artisanales. L'aluminium permet d'avoir une HE de qualité visuelle satisfaisante.

Modifications et améliorations de l'alambic traditionnel

MODIFICATIONS ET AMÉLIORATIONS APPORTÉES

Réaménagement du foyer : Pour que l'ensemble de la cucurbitte bénéficie de la puissance chauffante des gaz chauds provenant du foyer, il est indispensable d'étendre verticalement ce dernier par un anneau de 20 cm d'épaisseur. Cet anneau doit couvrir la circonférence de la cucurbitte. L'extension se termine au niveau de la tuyauterie de cohobation par un remblayage capable de conserver la chaleur (Figure 19).

Afin d'améliorer l'aération du foyer, la mise en place d'une grille est indispensable. Ce dispositif va partager le foyer en deux niveaux (Figure 19). En plus d'être un support pour les combustibles, la partie supérieure est le siège d'un débit d'air de combustion primaire tandis qu'un débit d'air de combustion secondaire est prévu pour circuler au dessous de la grille. Pour pouvoir résister au feu, une telle structure doit être façonnée avec des métaux de grande épaisseur. La cherté de ces matériaux pourrait empêcher l'application de cette solution. A titre d'alternative, il peut être intéressant de creuser un canal le long de la profondeur du foyer pour pouvoir le surmonter par des pierres tout en laissant de grands orifices pour permettre la libre circulation de l'air. En outre, il doit être assez large pour faciliter l'enlèvement des excès de braises à l'aide d'une pelle (Figure 19 et Photo 6A).

Réaménagement de la cheminée : L'existence de la cheminée munie d'un volet réglable est indispensable, non seulement pour canaliser la sortie des gaz chauds, mais aussi pour définir un tirage (Photo 6B). Ce phénomène d'aspiration est dû à l'écart de densité entre les fumées chaudes et l'air ambiant. Pour la plupart des alambics, l'origine du conduit de la cheminée est au même niveau que la base du foyer. Cela entraîne l'expulsion directe des gaz caloporteurs vers l'extérieur. Le déplacement de la cheminée à la limite de l'extension verticale du foyer permet alors d'évacuer les masses d'air chaudes qu'après avoir chauffé la cucurbitte. Pour des alambics ayant un volume moyen de 1 000 litres, le diamètre de la cheminée peut être fixé à 165 mm.

Modification de la cuve : Pour accroître le temps d'apparition de la première goutte de distillat, il suffit de remplacer le fond de la cuve par une tôle galvanisée ou en aluminium moins épaisse de 1,5 mm d'épaisseur. La modification de la cuve destinée à former le joint avec le chapiteau par une ouverture en « U » permet d'assurer l'étanchéité entre eux. Les pourritures de fibres de bananiers sont ainsi remplacées par un simple joint hydraulique (Photo 6C).

Le mode de chauffage des alambics exige l'adaptation d'une grille perforée (Photo 6D) située à une hauteur de 10 cm afin de laisser une partie vide entre le fond, les feuilles et l'eau. Cela permet d'éviter le phénomène de pyrolyse qui affecte la qualité de l'huile.

Modification du chapiteau : Pour assurer l'étanchéité du chapiteau avec le col de cygne, il suffit de remplacer les pourritures de fibres de bananiers par un simple joint hydraulique en modifiant légèrement l'évasement de l'orifice supérieur du chapiteau en « U » (Photo 6E).

Au cours de la distillation, les vapeurs condensées au niveau du dôme ne réintègrent pas systématiquement l'intérieur de l'alambic. Elles peuvent s'écouler le long de l'arrête du chapiteau et se déverser dans la gouttière en « V » de la cucurbitte. Ce phénomène entraîne des pertes de « principes actifs ». Pour y remédier, il est nécessaire d'installer un déflecteur matérialisé par une lame de métal cylindrique sur la face interne du dôme. Celui-ci permet de ramener les condensats dans l'alambic (Figure 19).



Modification du col de cygne : Pour éviter la perte en huile qui se condense avant la réfrigération dans le col de cygne, une augmentation de son inclinaison est nécessaire. Ainsi, l'huile piégée dans le col de cygne s'écoulera par gravitation dans le condenseur.

Modification du condenseur : Sa hauteur ne peut être modifiée car elle est conditionnée par celle du fût dans lequel il est plongé. En revanche la modification du diamètre extérieur à 40 cm et du diamètre intérieur à 25 cm est envisageable afin de permettre une bonne réfrigération (Photo 6F).

L'adaptation de la circulation de l'eau du réfrigérant à contre courant, entrée en bas et sortie en haut, permet d'éviter la surchauffe de l'eau de réfrigération (Photo 6G).

Installation d'un système de cohobation : Durant la distillation, l'ajout d'eau intermédiaire arrête complètement l'ébullition. Cet arrêt peut durer environ 30 minutes. Au cours d'une distillation de 24 h, cette opération peut se reproduire, ce qui augmente proportionnellement la dépense en combustibles et le temps de distillation. Il est possible de réduire au maximum voire supprimer les séquences d'ajout d'eau intermédiaire par l'installation d'une tuyauterie de cohobation (Figure 19 et Photo 6H). Elle permet le retour continu de l'eau mère dans la cucurbitte tout en évitant la fuite des vapeurs aromatiques.

Modification de l'essencier : Au contact avec le plastique, l'huile perd sa qualité. Le remplacement des deux seaux en plastique par des seaux en aluminium est indispensable (Photo 6I).

ÉTUDE DE LA PERFORMANCE EXTRACTIVE DE L'ALAMBIC AVANT ET APRÈS LES MODIFICATIONS ET LES AMÉLIORATIONS

Effets du mode de distillation et des spécificités des alambics sur des HE de feuilles de giroflier de Madagascar

Les conditions de production par l'étude du rendement et de la composition chimique des HE sont optimisées en fonction de l'alambic et des paramètres de distillation. L'objectif consiste donc de relever les paramètres liés au fonctionnement de l'alambic avant et après les modifications et améliorations (Tableau 15).

Tableau 15 : Paramètres à relever

Combustibles	Combustibles consommés durant la distillation (kg)
Durée	Durée d'apparition de la première goutte de condensat (h)
	Durée de distillation (h)
Huile essentielle	Cinétique de distillation (Quantité d'HE obtenue par heure)
	Quantité d'HE Obtenue (l)
	Rendement total en huile essentielle (V/P % de Matière fraîche)
	Composition chimique (% relatif)

Durée d'apparition de la première goutte : La modification du fond de cuve par une tôle galvanisée ou en aluminium de 1,5 mm d'épaisseur a permis d'accélérer l'ébullition de l'eau et de diminuer le temps d'apparition de la première goutte de distillat. Ce temps d'apparition de la première goutte est d'environ une heure et trente minutes avant les modifications alors qu'il est d'environ une heure seulement après les modifications (Figure 20).

Cinétique de distillation : Les modifications et les améliorations ont conduit à une vitesse d'extraction plus rapide, qui croit et décroît de façon modérée en un intervalle de temps court. Dans le cas de l'alambic traditionnel, on remarque une accélération plus faible de la vitesse d'extraction (Figure 21) : 99 % d'HE sont déjà extraites à la 15^e heure de distillation sur l'alambic modifié alors qu'on obtient cette proportion qu'à la 18^e heure sur l'alambic traditionnel. L'alambic modifié présente donc un grand avantage sur la durée de distillation.

Pour permettre un gain de rendement, la durée optimale d'extraction sur l'alambic modifié est d'environ 13 à 15 heures. A ce stade, les HE sont presque totalement extraites. Il est donc recommandé d'éviter d'excéder 15 heures d'extraction, car au-delà de ce seuil, la quantité d'HE obtenue devient insignifiante (Figure 21).

Rendement total en HE : Le rendement total en HE obtenue après 15 heures d'extraction sur l'alambic traditionnel est relativement inférieur à celui sur l'alambic modifié (Figure 22).

Consommation de bois après 15 heures de distillation : Les aménagements du foyer et l'installation d'une cheminée munie d'un volet réglable ont permis à l'ensemble de la cucurbitte de bénéficier de la puissance chauffante des gaz chauds provenant du foyer. La diminution de la consommation de bois par rapport à la situation initiale (avant les modifications) est d'environ 150 Kg (Figure 23).

Composition chimique : Les figures 24 et 25 montrent la teneur et le pourcentage cumulé en eugénol et en β -caryophyllène à chaque heure de distillation. Même si les deux courbes ont la même allure, l'alambic modifié présente un grand avantage quant à la teneur en ces deux composants.

La performance de l'alambic traditionnel a été comparée avant et après modifications et améliorations. Ces dernières concernent : les différents joints d'étanchéité, l'augmentation du volume du foyer, la mise en place d'un système de récupération d'HE à l'intérieur du chapiteau, la modification du fond de cuve en aluminium, la mise en place d'une cheminée métallique à volet réglable, la mise en place de la grille métallique s'interposant entre le fond de l'alambic et la matière première et la mise en place d'un système de cohobation et la modification de l'essencier.

Elles ont permis de diminuer le temps de distillation, de réduire la consommation de bois de chauffe et surtout d'améliorer le rendement et la teneur en eugénol et en β -caryophyllène de l'HE.

Conclusion générale

Les résultats de ces études ont permis de maîtriser les facteurs de variabilités du rendement et de la composition chimique des HE de girofle. Il est possible d'utiliser la teneur en composant majoritaire pour différencier les HE extraites de clous, feuilles et griffes du giroflier :

- Le meilleur moment de récolter les clous de girofle pour leurs HE est au stade de bourgeon final pour obtenir un meilleur rendement et une haute teneur en eugénol ;



- Le rendement et la teneur en eugénol sont à l'optimum au stade des feuilles matures (feuilles vertes foncées) ;
- Il convient d'extraire l'HE de feuilles de giroflier après environ une semaine de séchage à l'ombre, puisque la teneur en huile serait à son maximum ;
- Les modifications et améliorations de l'alambic diminuent le temps de distillation, réduisent la consommation de bois de chauffe et surtout améliorent le rendement et la teneur en eugénol et en β -caryophyllène de l'HE.

Références bibliographiques

AFNOR, 2000. Recueil de normes : les huiles essentielles. Tome 2. Monographies relatives aux huiles essentielles, AFNOR, Paris, 661 - 663.

Alma M.H., Ertas M., Nitz S., Kollmannsberger H., 2007. Chemical composition and content of essential oil from the bud of cultivated Turkish clove (*Syzygium aromaticum* L.), BioRessources, 2: 265 - 269.

Andrianirina N., Benoit-Cattin M., David- Benz H., 2010. Diversité, diversification et inégalités chez les ménages ruraux. Le cas de l'observatoire rural de Fénérive-Est à Madagascar. Actes des 4es journées INRA-SFER-CIRAD de recherches en sciences sociales. [En ligne] <http://www.sfer.asso.fr>. Accessed 30th November, 2013.

Andrianoelisoa H.S., Menut C., Collas de Chatelperron P., et al., 2006. Intraspecific chemical variability and highlighting of chemotypes of leaf essential oils from *Ravensara aromatica* Sonnerat, a tree endemic to Madagascar, Flavour and Fragrance Journal, 21: 833-838.

Arnez M., 2009. Tobacco and kretek: Indonesian drugs in historical change. Aktuelle Südostasienforschung / Current Research on South-East Asia, 2: 49-69.

Blanc-Pamard C., RUFF., 1992. La transition caféière. Côte Est de Madagascar. CIRAD et Centre d'Etudes Africaines Editeurs, Collection « Documents Systèmes Agraires », 16, 248 p.

Boiteau G., 1936. Le girofle. La Revue de Madagascar, 13 : 107-116.

Bouriquet G., 1941. Les Champignons de Madagascar. La Revue de Madagascar, 28 : 117-137.

Bouriquet G., 1942-1943. Notes de mycologie malgaches. Bulletin de l'Académie malgache, 25 : 12-24.

Bouriquet G., 1946. Les maladies du giroflier. In : Les maladies des plantes cultivées à Madagascar. Encyclopédie mycologique Paul Lechevalier Editeur, France, 237-252.

Briand C., 1996. L'essence de feuille de girofle, précurseur de nombreuses molécules indispensables aux créateurs de parfums et d'arômes alimentaires. Les Cahiers du CITE, 4: 61-62.

Brown M., 2000. A history of Madagascar. Damien Tunnacliffe Editor, Cambridge, 408 p.

Burt S., 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods- A review. International Journal of Food Microbiology, 94: 223-253.

Campbell G., 2005. An economic history of imperial Madagascar, 1750-1895. Cambridge University Press, Cambridge, 413 p.

EL R., 1947. Commerce extérieur de Madagascar. M. de Coppet (Éd.), Madagascar et Réunion, tome deuxième. Encyclopédie de l'Empire français, France, 101-114.

Chami F., Chami N., Bennis S., Bouchikhi T., Remmal A., 2005. Oregano and clove essential oils induce surface alteration of *Saccharomyces cerevisiae*, Phytotherapy Research, 19: 405 - 408.

Ciolina F., 1947. Le café. M. de Coppet (Éd.), Madagascar et Réunion, tome premier. Encyclopédie de l'Empire français, France, 299-308.

Cornet A., 1974. Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar. Notice explicative 55, Office de la Recherche scientifique et technique outre-mer (ORSTOM), France, 28 p. + appendices.

Dandoy G., 1973. Terroir et économie villageoise de la région de Vavatenina (Côte orientale malgache). In : G. Dandoy (Éd.), Atlas des structures agraires à Madagascar, Maison des Sciences de l'Homme et ORSTOM, France, 94 p.

Danthu P., Penote, Ranoarison K. M., Rakotondravelo J. C., Michel-Dounias I., Tiollier M., Michels T., Normand F., Razafimamonjison G., Fawbush F., Jahiel M., 2014. The clove tree of Madagascar: a success story with an unpredictable future, Bois et forêts des tropiques, 320, (2), 83 - 96.

DE HAUT DE SIGY G., 1968. Contribution à l'étude de la production de clous de girofle à Madagascar en rapport avec la pluviométrie. Institut de Recherches Agronomiques à Madagascar, Document n° 151, 11 p. + annexes.

DE NEMOURS C. P. (DUC), 1930. Madagascar et ses richesses. Collection Les Pays Modernes, Pierre Roger Éditeur, France, 294 p.

Decary E., 1937. Les débuts de la colonisation agricole à l'île de Sainte-Marie de Madagascar. Revue de Botanique appliquée et d'Agriculture coloniale, 17 : 610-618.

Donques G., 1975. Les cyclones tropicaux des mers malgaches. Mise au point. Madagascar, Revue de Géographie, 27 : 9-63.

Duault Y., 2008. Analyse financière et économique du programme d'intensification et de structuration des principales filières d'exportations. Rapport pour le Centre Technique Horticole de Tamatave, Tamatave, Madagascar, 134 p.

Dubois J., Ranaivosoa H., 1966. *Chrysomya mabilianum* Viette, chenille mineuse du giroflier (Andretra). Biologie et lutte mécanique. L'Agronomie tropicale, 21 : 822-836.

Duclos T., 2012. Le girofle de Madagascar : l'exotisme par excellence ! Expression cosmétique, 13 : 208-213.

Dufournet R., 1968. Le giroflier et sa culture. Bulletin de Madagascar, 262 : 216-279.

Ebrahimi S.N., Hadian J., Mirjalili M.H., Sonboli A., Yousefzadi M., 2008. Essential oil composition and antibacterial activity of *Thymus caramanicus* at different phenological stages, Food Chemistry, 110: 927 - 931.

FAO, 2013. La crise du café et ses conséquences. [En ligne] <http://www.fao.org>. Accessed December 1 st, 2013.

FAOSTAT, 2013. Production. Trade. [On line] <http://faostat3.fao.org>. Accessed august 31 st, 2013.

Franchomme P., Jollois R., Pénéol D., 2001. L'aromathérapie exactement. Éditions Roger Jollois, Limoges, 510 p.

François E., 1928. La culture du giroflier à Madagascar. Revue de Botanique appliquée et d'Agriculture coloniale, 8 : 693-696.

François E., 1934. Pour l'organisation de notre production de girofle et d'essence de girofle. Bulletin économique de Madagascar, août 1934, 732-736.

François E., 1936. Giroflier et girofle. Revue de Botanique appliquée et d'Agriculture coloniale, 16 : 589-608, 892-907.

François E., 1945. Le commerce extérieur de Madagascar en 1944. Revue de Madagascar, Numéro spécial, 26-30.



- Frappa C., 1954. Sur la chenille de *Thyrididæ* du genre *Chrysotypus* nuisible au giroflier sur la côte est de Madagascar. Bulletin de Madagascar, 95 : 280-287.
- Frère J., 1955. Le Girofle à Zanzibar. L'Agronomie tropicale, 10 : 485-498.
- Fu Y. J., Zu Y. G., Chen L. Y., Shi X. G., Wang Z., Sun, S., Efferth T., 2007. Antimicrobial activity of clove and rosemary essential oils alone and in combination. Phytotherapy Research, 21: 989-994.
- Gallieni J., 1908. Neuf ans à Madagascar. Librairie Hachette et Cie, France, 361 p.
- Gatefossé J., 1921. Les végétaux aromatiques de Madagascar. L'Agronomie tropicale, 6 : 113-121.
- Gopalakrishanan N., Narayanan C. S., 1988. Composition of clove leaf oil during leaf growth. Indian Perfumer, 32: 130-132.
- Hanusz M., 2002. Kretek: the culture and heritage of Indonesia's clove cigarettes. Equinox Publishing (Asia), Jakarta, Indonésie, 220 p.
- Heim R., Bouriquet G., 1937. La maladie de l'apoplexie du giroflier à Madagascar. Comptes rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie d'Agriculture de France, 23 : 25-29.
- Heim R., Bouriquet G., 1939. Maladies et champignons du giroflier. Revue de Pathologie végétale et d'Entomologie agricole de France, 26 : 35 p.
- JOURNAL OFFICIEL DE Madagascar ET DÉPENDANCES, 1930. Arrêté réglementant les conditions de circulation, de mise en vente et d'exportation de certains produits naturels de Madagascar et Dépendances. November 15th, 1930, 1016-1024.
- Kim H.M., Lee E.H., Hong S.H., 1998. Effect of *Syzygium aromaticum* extract on immediate hypersensitivity in rats», Journal of Ethnopharmacology, 60: 125 - 131.
- Kirkham M., 1928. Rapport sur l'industrie du girofle à Madagascar. Bulletin économique de Madagascar, 28: 76-80.
- Lawrence S., Collin J., 2004. Competing with kreteks: transnational tobacco companies, globalisation, and Indonesia. Tobacco Control, 13 (Suppl. II): 96-103.
- Ledreux A., 1928. Le giroflier dans les régions de Fénériver, Soanierana et Sainte-Marie. Bulletin économique de Madagascar, 1: 38-45.
- Ledreux A., 1932. Le giroflier à Sainte-Marie et Madagascar. Bulletin mensuel de l'Institut National d'Agronomie Coloniale, 175/176 : 1-22, + appendices.
- Leroy J. F., 1946. Le giroflier et les plantes à parfum. Revue internationale de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale, 26: 425-429.
- Levasseur S., 2012. Analyse des systèmes agricoles à base de girofliers à Sainte-Marie, Madagascar : entre héritage colonial et innovations paysannes. Mémoire de fin d'étude, RESAD, Institut des Régions Chaudes, Montpellier, France, 74 p.
- Locatelli B., 2000. Pression démographique et construction du paysage rural des tropiques humides : l'exemple de Mananara (Madagascar). Thèse de doctorat, École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Centre de Montpellier, France, 441 p.
- Maistre J., 1955. Le giroflier à Madagascar et Zanzibar. L'Agronomie tropicale, 10 : 413-448.
- Maistre J., 1964. Le clou de Girofle. In : Les plantes à épices. G.-P. Maisonneuve, Larose Éditeur, France, 77-124.
- Martin P. J., 1991. The Zanzibar clove industry. Economic Botany, 45: 450-459.
- Michels T., Bisson A., Ralaidovy V., Rabemananjara H., Jahiel M., Malézieux E., 2011. Horticultural agroforestry systems in the humid tropics: analysis of clove tree-based systems in Madagascar. Acta Horticulturae, 894: 161-168.
- Parle M., Khanna D., 2011. Clove: a champion spice. International Journal of Research in Ayurveda & Pharmacy, 2: 47- 54.
- MINAGRI (Ministère de l'Agriculture de Madagascar), 2011. Relance de la filière café à Madagascar. [En ligne] <http://www.agriculture.gov.mg>. Accessed October 17th, 2013.
- MINISTÈRE DES COLONIES, 1917. Rapport sur la situation économique de la colonie de Madagascar et dépendances en 1915. Bulletin de l'office colonial, France, 657 p. [En ligne] <http://gallica.bnf.fr>.
- Miyazawa M., Hisama M., 2001. Suppression of chemical mutagen induced SOS response by alkylphenols from clove (*Syzygium aromaticum*) in *Salmonella typhimurium*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49: 4019 - 4025.
- Moreau S., 2013. Construction et déconstruction de patrimoines alimentaires à Madagascar: le cas du café. In : M.-C. Cormier-Salem, P. De Robert, D. Juhé-Beaulaton, B. Roussel (Éds.), Effervescence patrimoniale au Sud : entre nature et société. Éditions de l'IRD, Collection Latitudes 23, France, 313-335.
- Nemeth E., Hethelyi E., Bernath J., 1994. Comparison studies on *Tanacetum vulgare* L. chemotypes, Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants, 2: 85 - 92.
- Ogata M., Hoshi M., Urano S., Endo T., 2000. Antioxidant activity of eugenol and related monomeric and dimeric compounds», Chemical & Pharmaceutical Bulletin, 48: 1467 - 1469.
- PPR.R. (Programme de Promotion des Revenus Ruraux), 2013. [En ligne] <http://www.ppr.rg>. Accessed November 22nd, 2013.
- Park I.K., Shin S.C., 2005. Fumigant activity of plant essential oils and components from garlic (*Allium sativum*) and clove bud (*Eugenia caryophyllata*) oils against the Japanese termite (*Reticulitermes speratus*), Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53: 4388 - 4392.
- Pino J.A., Marbot R., Agüero J., Fuentes V., 2001. Essential oil from buds and leaves of clove (*Syzygium aromaticum* L. Merr. et Perry) Grown in Cuba, Journal of Essential Oil Research, 13: 278 - 279.
- Prudhomme E., 1901. L'agriculture sur la côte Est de Madagascar. Comité de Madagascar, Tananarive, 118 p. + appendices.
- Prudhomme E., 1909. Ressources agricoles de Madagascar. Bibliothèque d'Agriculture coloniale, Augustin Challamel Éditeur, France, 68 p.
- Rabearimanana L., 1985. La politique économique coloniale sur la côte est (Madagascar) dans les années 1950. Omaly sy Anio, 21-22 : 307-337.
- Rabechault H., 1955. Sur l'anatomie du giroflier (*Syzygium aromaticum* (L.) Merril et Perry). L'Agronomie Tropicale, 10 : 449-484.
- Rahonintsoa E., 1978. Sainte-Marie de Madagascar : insularité et économie du girofle. Mémoire de maîtrise de géographie, Université d'Antananarivo, 166 p.
- Rakotobe M., Menut C., Andrianoelisoa H.S., et al., 2008. The bark essential oil composition and chemotaxonomical appraisal of *Cedrelopsis grevei* H. Baillon from Madagascar, Natural Product Communications, 3: 1-6.
- Ramalanjaona C., Jourdan E., 1961. L'essence de girofle de Madagascar. Technologie-Distillation-Emballage. Institut de Recherches Agronomiques à Madagascar, Tananarive, 66 p.
- Ramanantsoavina G., 1971. Aperçu sur quelques produits agricoles malgaches (café, vanille, girofle, coton). Terre Malgache - Tany malagasy, 10 : 199-230.
- Ramezani S., Rasouli F., Solaimani B., 2009. Changes in Essential Oil Content of coriander (*Coriandrum sativum* L.) aerial parts during four phenological stages in Iran, Journal of Essential Oil Bearing Plants, 12: 683-689.
- Ramilison A., 1985. La production caféière à Madagascar. Omaly sy Anio, 21-22: 339-359.



Razafimamonjison G., Jahiel M., Ramanoelina P., Fawbush F., Danthu P., 2013. Effects of phonological stages on yield and composition of essential oil of *Syzygium aromaticum* buds from Madagascar. *International Journal of Basics and Applied Sciences*, 2: 312-318.

Razafimamonjison G., Jahiel M., Ramanoelina P., Fawbush F., Danthu P., 2014. Bud, leaf and stem essential oil composition of clove (*Syzygium aromaticum* L.) from Indonesia, Madagascar and Zanzibar, *International Journal of Basics and Applied Sciences*, 3: 224-233.

Razafimamonjison G., Boulanger R., Jahiel M., Ramanoelina P., Fawbush F., Lebrun M., Danthu P., 2016. Variations in yield and composition of leaf essential oil from *Syzygium aromaticum* at various phases of development, *International Journal of Basics and Applied Sciences*, 5, (1): 90-94.

Rollot C., 1923. Les productions agricoles de Madagascar. In: Madagascar économique - La foire commerciale de Tananarive. Les Impressions de l'Imerina, Tananarive, 143-182.

Ruff, 2000. L'avenir des cultures pérennes en Indonésie. Cacao et clou de girofle après la tempête monétaire. *Tiers Monde*, 41: 431-452.

Schweitzer C., Ranaivosoa L., 2007. Étude de marchés internationaux pour le piment et le girofle. Rapport final. Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, Programme de Promotion des Revenus Ruraux (P.P.R.R.), Antananarivo, Madagascar, 118 p.

Shaaban H. E. A., El-Ghorab A. H., Shibamoto T., 2012. Bioactivity of essential oils and their volatile aroma components: Review. *The Journal of Essential Oil Research*, 24: 203-212.

Srivastava A. K., Srivastava S. K., Syamsundar K. V., 2005. Bud and leaf essential oil composition of *Syzygium aromaticum* from India and Madagascar. *Flavour and Fragrance Journal*, 20: 51-53.

Suresh P., Ingle V. K., Vijayalakshmi V., 1992. Antibacterial activity of eugenol in comparison with other antibiotics. *Journal of Food Science and Technology*, 29: 254-256.

Teuscher E., Anton R., Lobstein A., 2005. Girofle. In: *Plantes aromatiques*. Collection TEC & DOC, Éditions Lavoisier, Cachan, 266-272.

Thankamani C. K., Sivaraman K., Kandiannan K., Peter K. V., 1994. Agronomy of tree spices (Clove, nutmeg, cinnamon and allspice). A review. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 3: 105-123.

Torquebiau E. F., 2000. A renewed perspective on agroforestry concepts and classification. *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Sciences de la Vie/Life Sciences*, 323 : 1009-1017.

Tourneur M., 1947a. Épices et aromates. M. de Coppet (Éd.), Madagascar et Réunion, tome premier. *Encyclopédie de l'Empire français*, France, 310-321.

Tourneur M., 1947b. Plantes à parfum. In: M. de Coppet (Éd.), Madagascar et Réunion, tome premier. *Encyclopédie de l'Empire français*, France, 322-327.

Tworkoski T., 2002. Herbicide effects of essential oils, *Weed Science*, 50: 425-431.

Vaxelaire D., 2013. Les chasseurs d'épices. Éditions Orphie, Chevagny-sur-Guye, 359 p.

Vernin G., Vernin E., Metzger J., Pujol L., Parkanyi C., 1994. GC/MS analysis of clove essential oils. In *Spices Herbs and Edible Fungi*, Charalambous G (ed.). Elsevier Science: Amsterdam, 483-500.

Zheng G.Q., Kenney P.M., Lam L.K.T., 1992. Sesquiterpenes from clove (*Eugenia caryophyllata*), *Journal of Natural Products*, 55: 999 - 1003.



(A) Pied de giroflier



(B) Feuilles de giroflier



(C) Clous de girofle



(D) Clous de girofle secs et frais

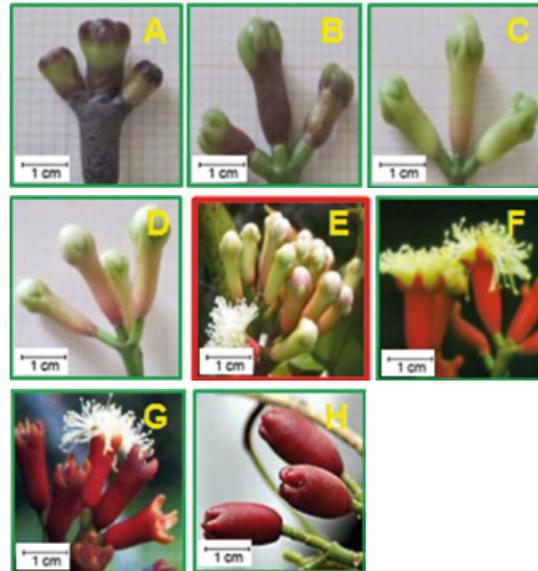


(E) *Chrysotypus mabilianum*

Photos 1 : Éléments de biologie du giroflier

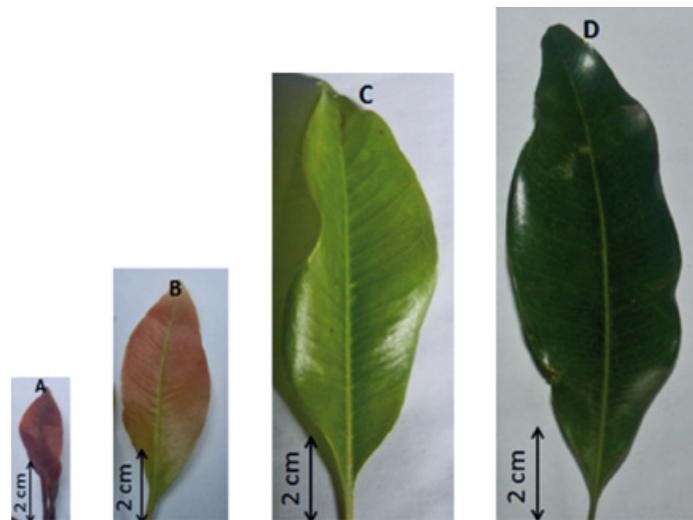


Photo 2 : Alambic de distillation



Photos 3 : Différents stades phénologiques du clou de girofle

A, B, C, D, E, F, G, H représentent respectivement le stade de bourgeon initial, le stade de bourgeon 1, le stade de bourgeon 2, le stade de bourgeon 3, le stade de bourgeon final, le stade de floraison, le stade de fructification initial et le stade de fructification final



Photos 4 : Quatre stades de développement de feuilles de girofle

A, B, C, D, représentent respectivement les jeunes feuilles, les feuilles en épanouissement au stade 1, les feuilles en épanouissement au stade 2 et les feuilles matures



(A) Alambic traditionnel d'extraction



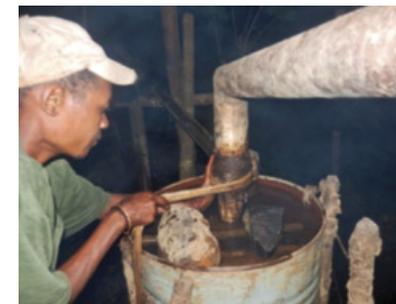
(B) Foyer simple et rudimentaire



(C) Cuve ou cucurbitte d'alambic



(D) Etanchéité de la cuve avec le chapiteau



(E) Jonction entre le col de cygne et le condenseur



(F) Condenseur et réfrigérant



(G) Essencier en seau plastique



(H) Chargement de la cuve

Photos 5 : Alambic traditionnel et pratique actuelle de la distillation



(A) Foyer amélioré



(B) Cheminée munie d'un volet réglable



(C) Modification de l'ouverture de la cuve en « U »



(D) Grille perforée



(E) Orifice supérieur du chapiteau en « U »



(F) Condenseur modifié



(G) Réfrigérant à contre courant

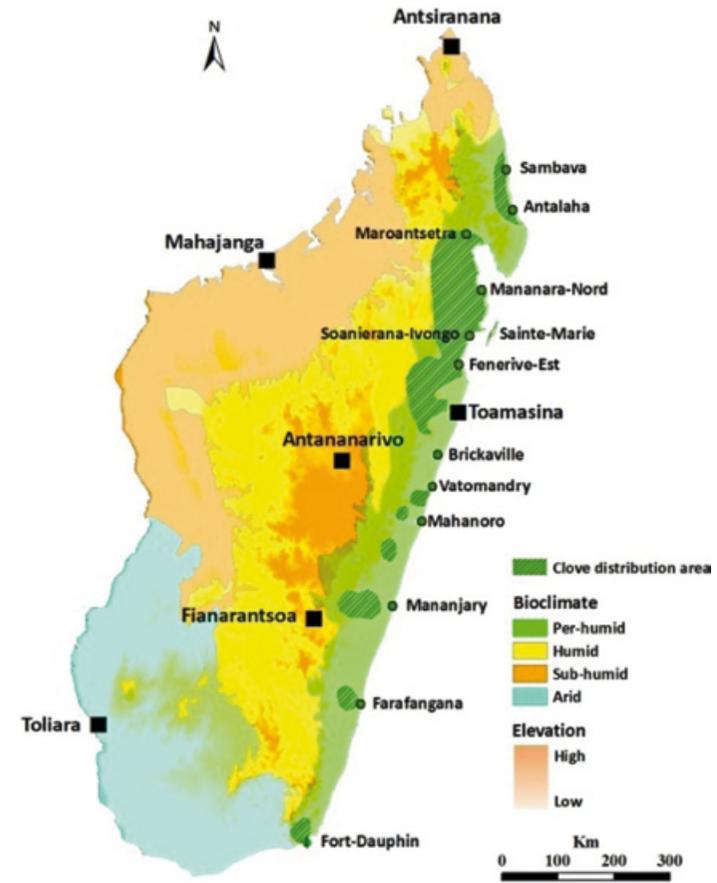


(H) Système de cohobation

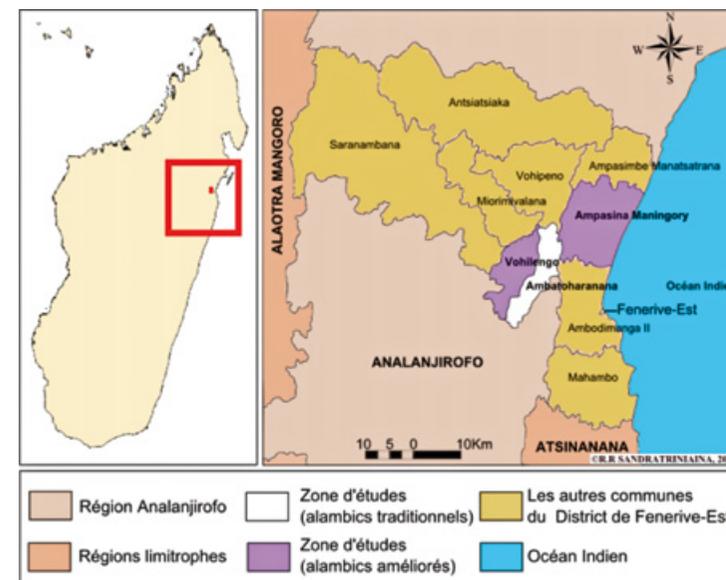


(I) Essenciers en aluminium

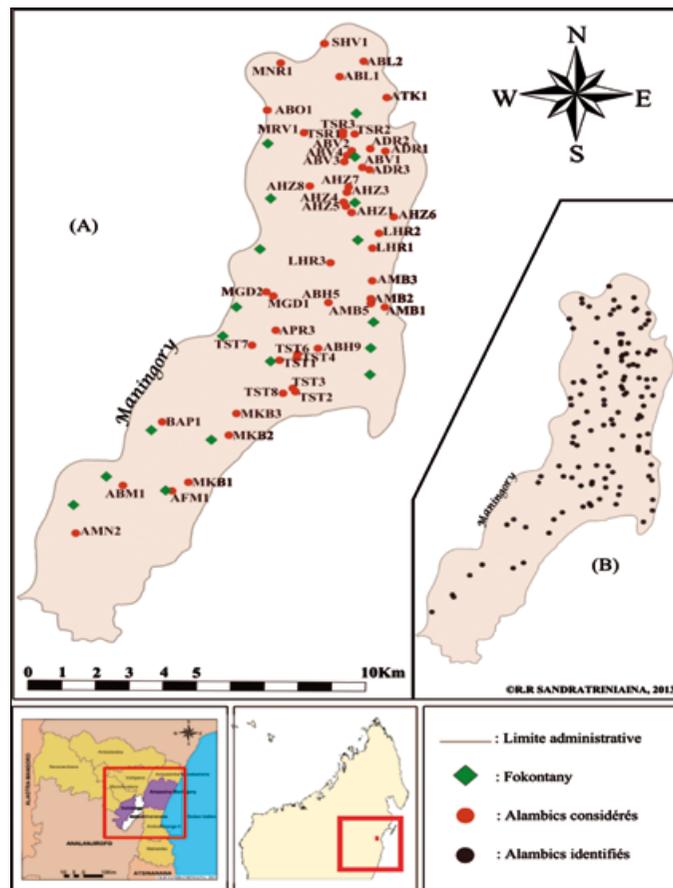
Photos 6 : Modifications et améliorations apportées sur l'alambic



Carte 1 : Répartition géographique du giroflier (Source : Danthu et al., 2014)



Carte 2 : Localisation géographique du milieu d'études (Source : Sandratriniana, 2013)



Cartes 3A et 3B : Cartographie des alambics dans la commune d'Ambatoharanana (Source Sandratriniana, 2013)

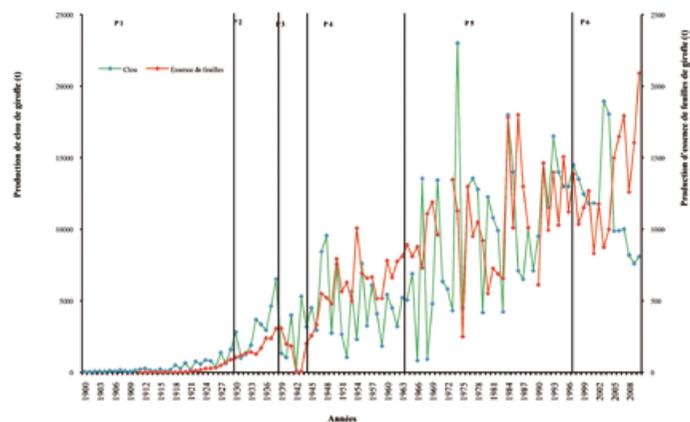


Figure 1 : Évolution de la production malgache de clous et d'essence de girofle (Source : Danthu et al., 2014)

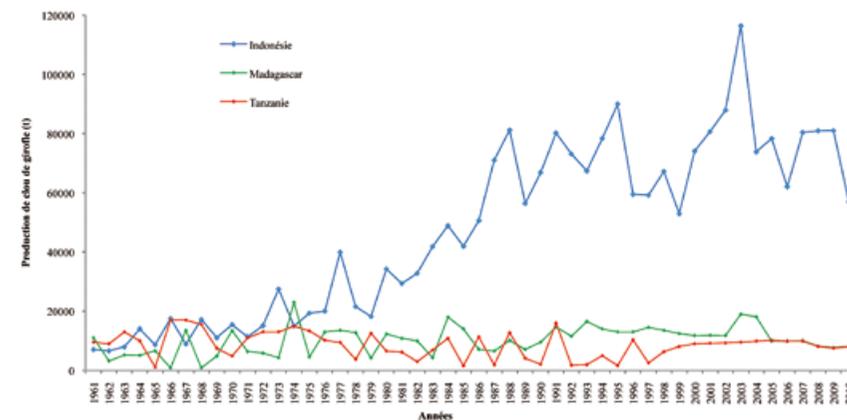


Figure 2 : La production de clou de l'Indonésie, Zanzibar et Madagascar (Source : Danthu et al., 2014)

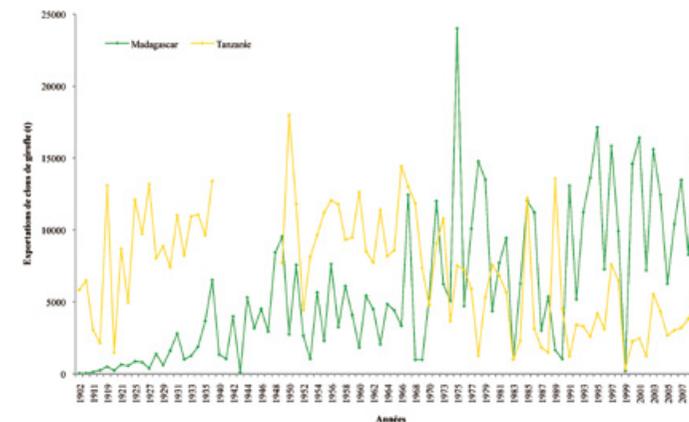
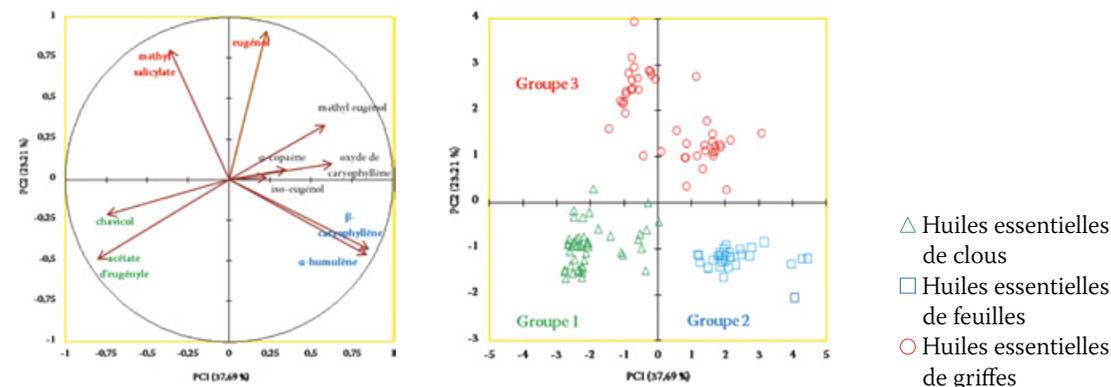
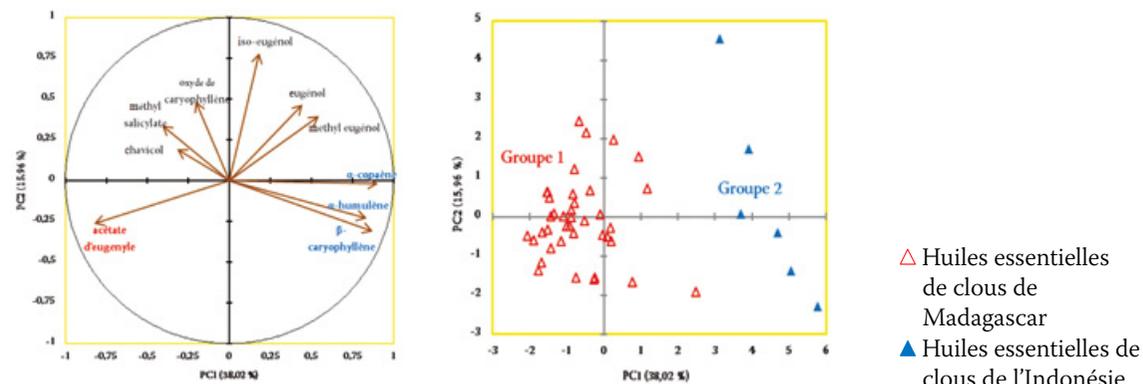


Figure 3 : Exportations de clou de girofle de Zanzibar et Madagascar (Source : Danthu et al., 2014)



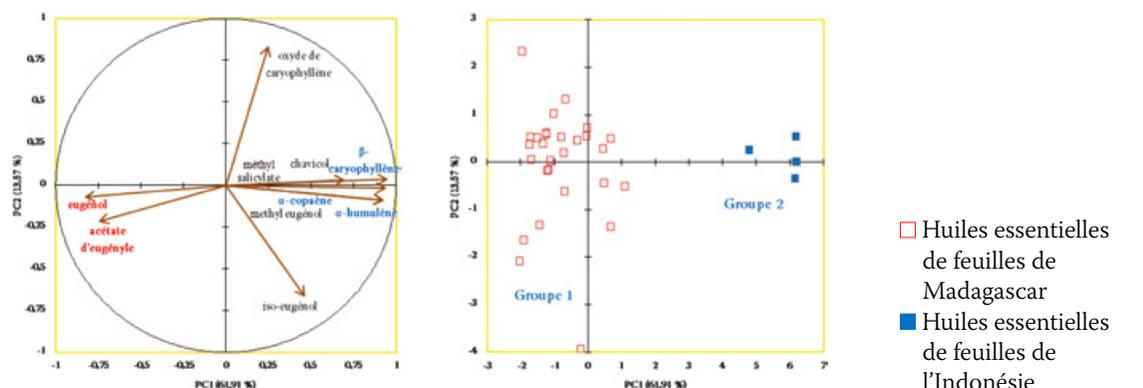
Cercle de corrélation des 10 variables Représentation graphique de la répartition des échantillons

Figure 4 : ACP effectuée sur 121 huiles essentielles et 10 variables prises en compte



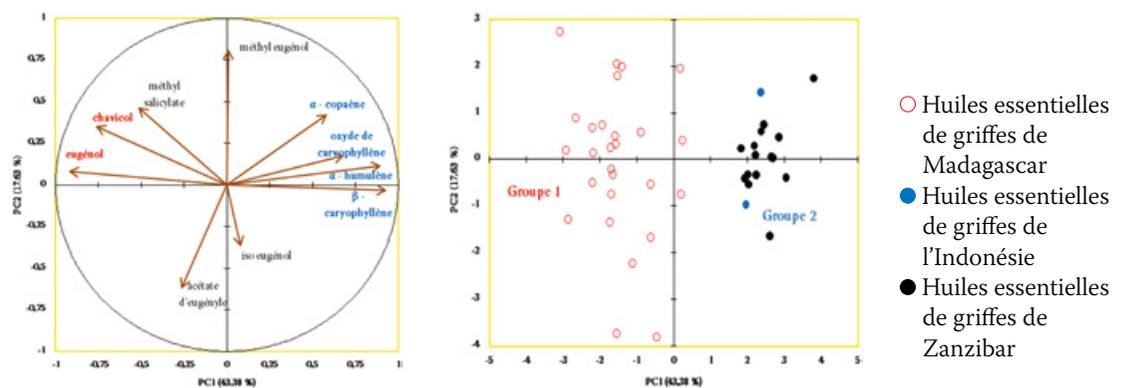
Cercle de corrélation des 10 variables Représentation graphique de la répartition des huiles essentielles de clous

Figure 5 : ACP effectuée sur 45 huiles essentielles de clous et 10 variables prises en compte



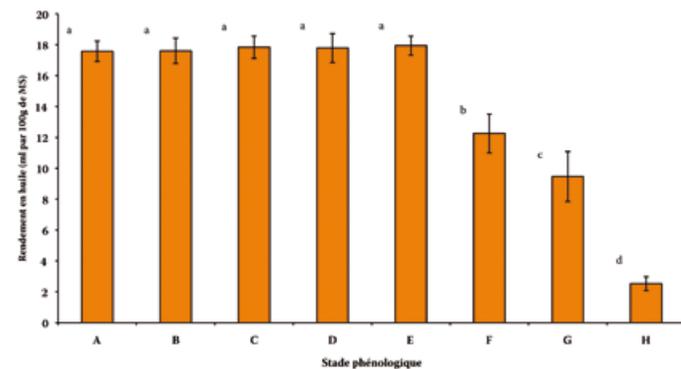
Cercle de corrélation des 10 variables Représentation graphique de la répartition des huiles essentielles de feuilles

Figure 6 : ACP effectuée sur 32 huiles essentielles de feuilles et 10 variables prises en compte



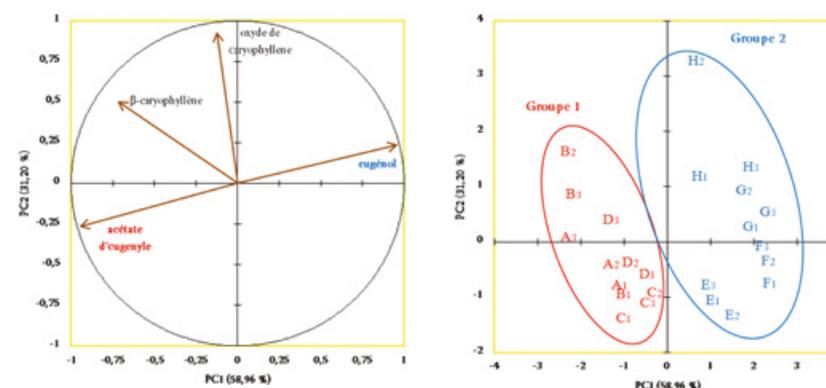
Cercle de corrélation des 10 variables Représentation graphique de la répartition des huiles essentielles de griffes

Figure 7 : ACP effectuée sur 44 huiles essentielles de griffes et 10 variables prises en compte



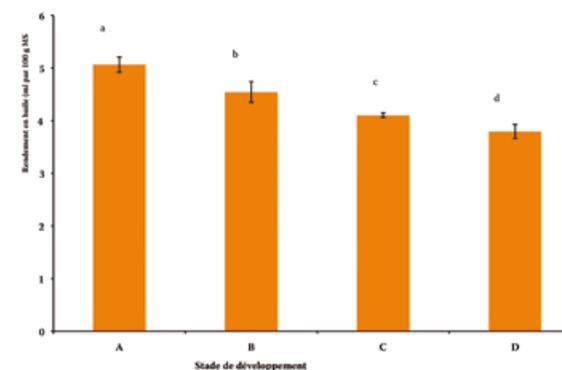
A, B, C, D, E, F, G, H représentent respectivement le stade de bourgeon initial, le stade de bourgeon 1, le stade de bourgeon 2, le stade de bourgeon 3, le stade de bourgeon final, le stade de floraison, le stade de fructification initial et le stade de fructification final

Figure 8 : Rendement en huile essentielle de clous de girofle suivant les huit stades phénologiques



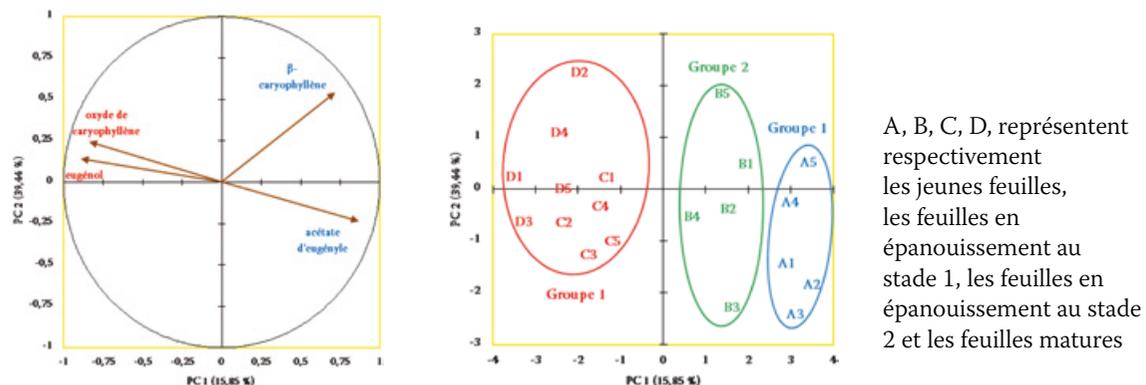
Cercle de corrélation des 4 variables Représentation graphique de la répartition des huiles essentielles de clous

Figure 9 : ACP effectuée sur 24 huiles essentielles de clous et 4 variables prises en compte



A, B, C, D, représentent respectivement les jeunes feuilles, les feuilles en épanouissement au stade 1, les feuilles en épanouissement au stade 2 et les feuilles matures

Figure 10 : Rendement en huile essentielle de feuilles de girofle suivant les quatre stades de développement



Cercle de corrélation des 4 variables Représentation graphique de la répartition des huiles essentielles de feuilles

Figure 11 : ACP effectuée sur 20 huiles essentielles de feuilles et 4 variables prises en compte

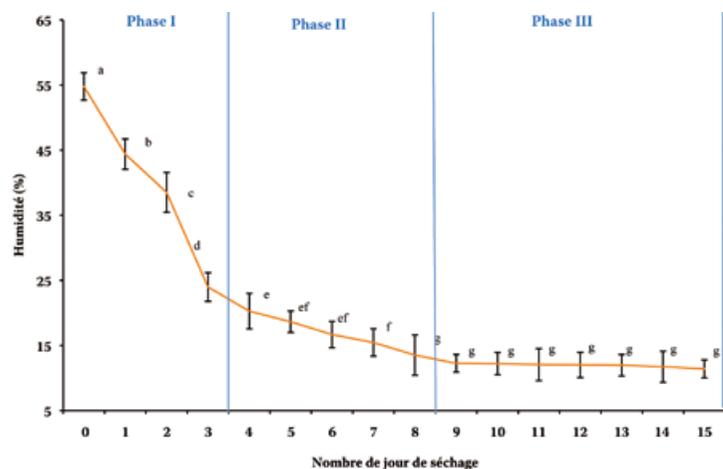


Figure 12 : Évolution de la teneur en eau des feuilles de giroflier au cours du séchage

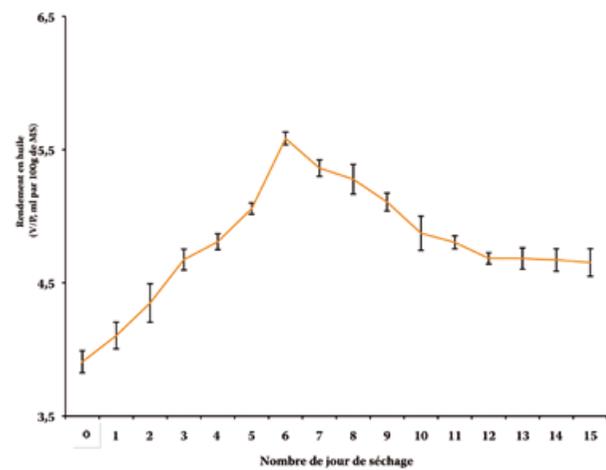


Figure 13 : Évolution des teneurs en huiles essentielles des feuilles de giroflier en fonction du séchage

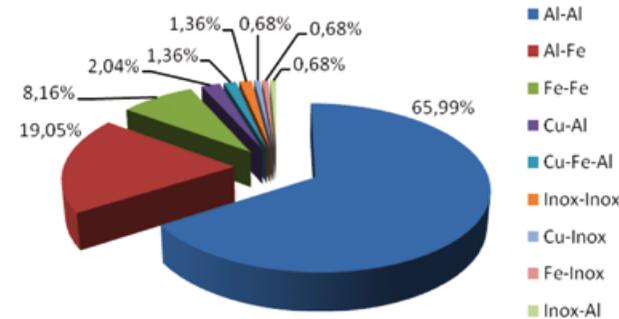


Figure 14 : Matériaux de fabrication des alambics

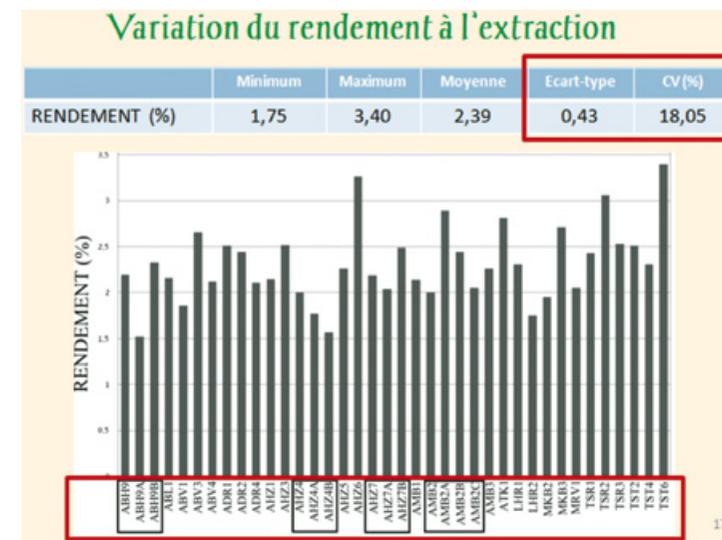
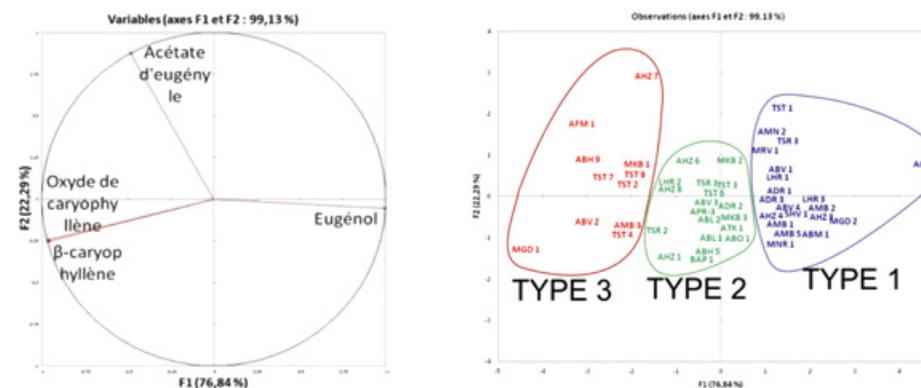
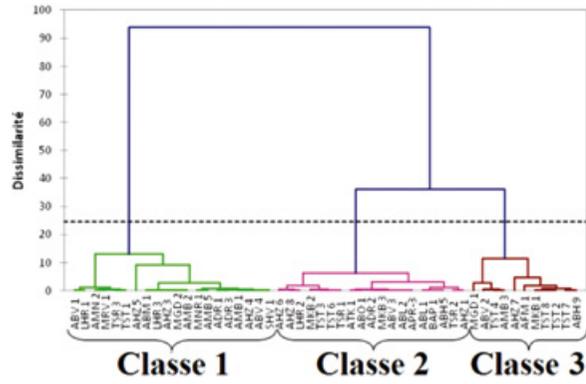


Figure 15 : Rendement en huile essentielle (Source Sandratriniaina, 2013)



(A) Cercle de corrélation des variables

(B) Répartition des alambics selon la composition chimique



(C) Classification ascendante hiérarchique des trois types d'alambic

Figure 16 : ACP et CAH énoncent les trois types d'alambics correspondant à trois profils chimiques

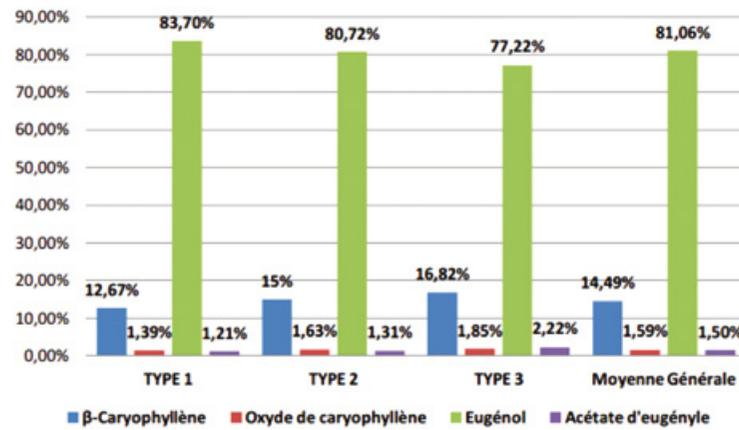


Figure n°17 : Pourcentage des différents éléments chimiques des échantillons issus de chaque type d'alambics

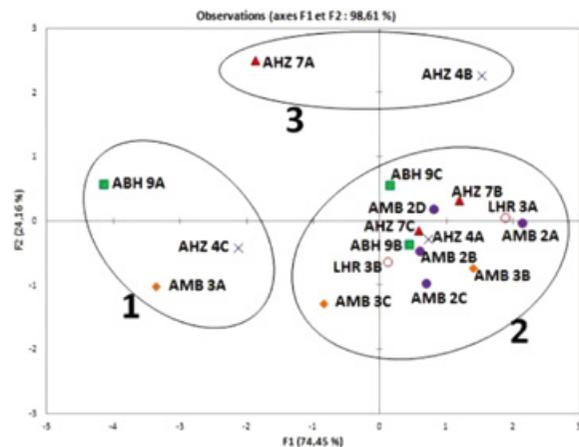
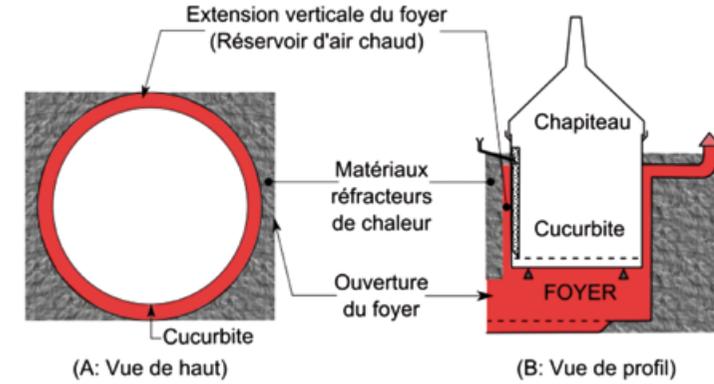
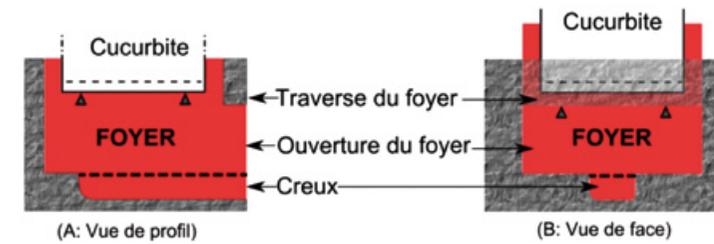


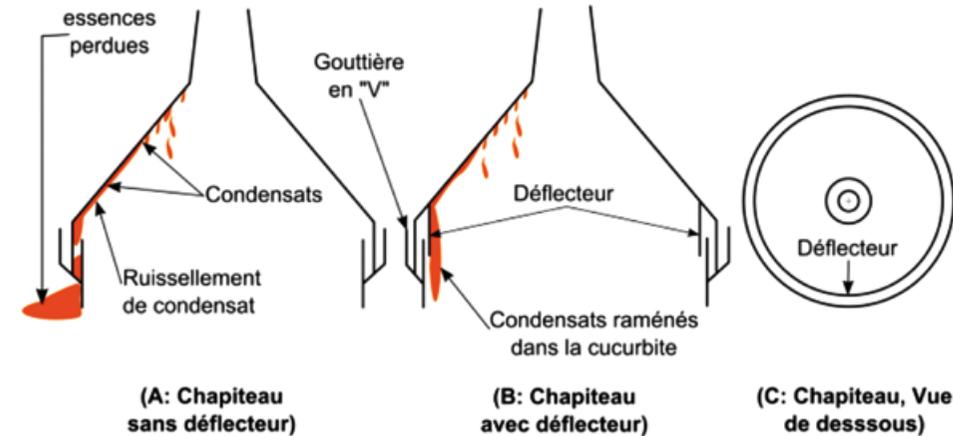
Figure 18 : Répartition des individus en 3 groupes



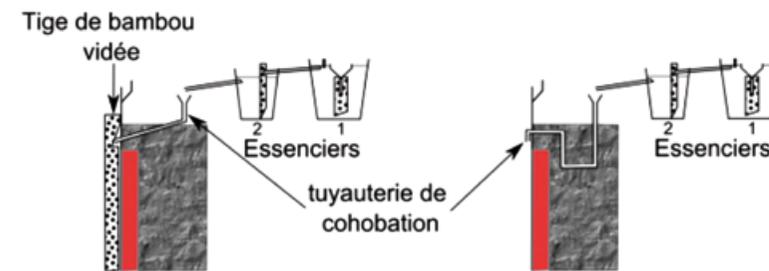
(A) Extension verticale du foyer



(B) Canal pour la circulation de l'air



(C) Déflecteur d'huile



(D) Système de cohobation

Figure 19 : Modifications et améliorations apportées sur l'alambic

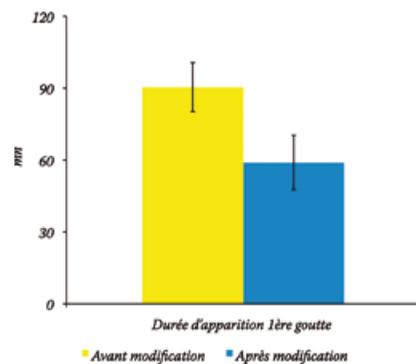


Figure 20 : Durée d'apparition de la première goutte de distillat

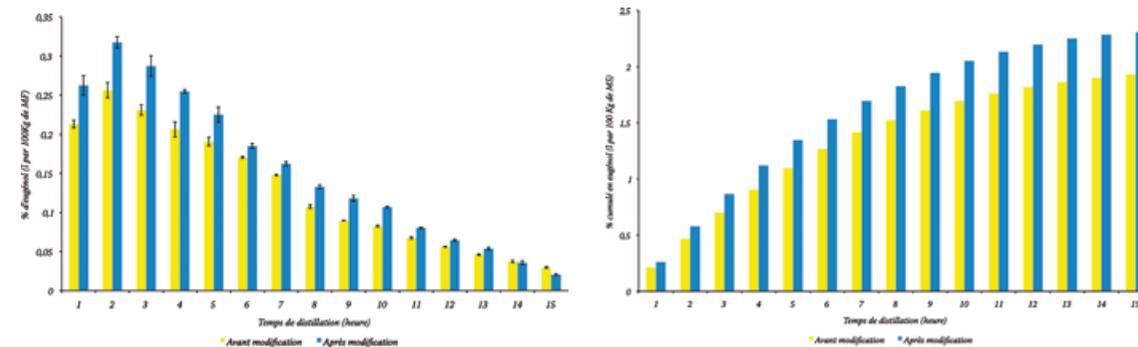
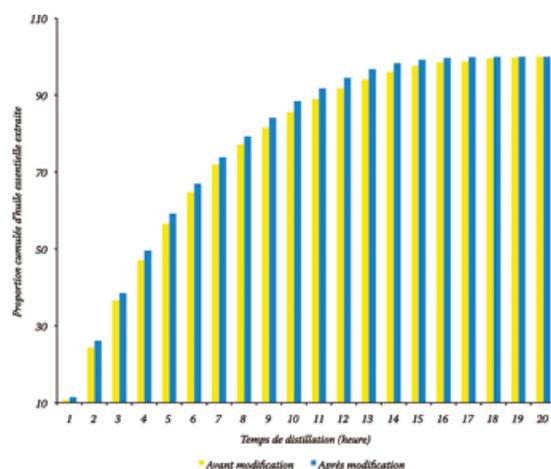
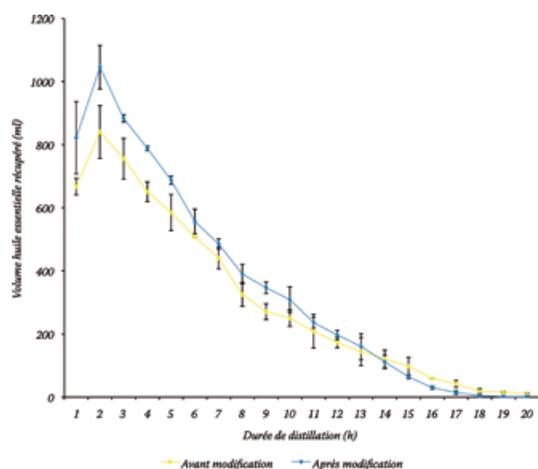


Figure 24 : Teneur et pourcentage cumulé en eugénol (l par 100 kg de MF)



(A) Courbes de variation d'accélération de la vitesse d'extraction relative à l'alambic traditionnel et à l'alambic modifié

(B) Proportion cumulée d'huile essentielle extraite

Figure 21 : Cinétique de distillation

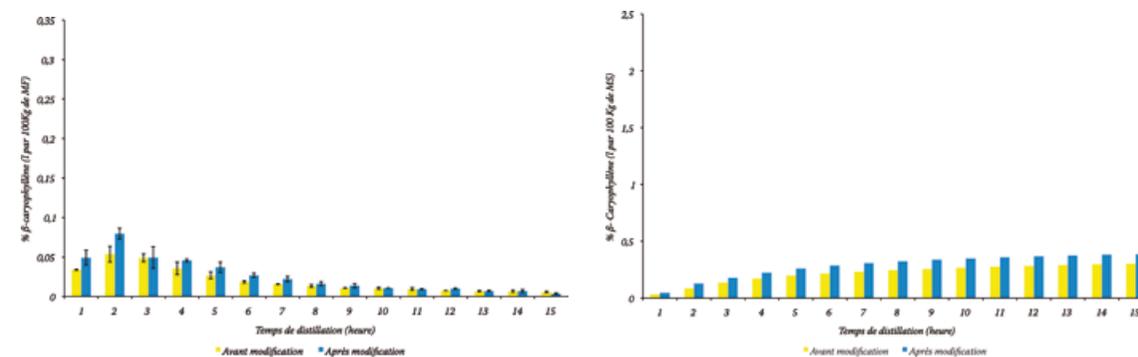


Figure 25 : Teneur en β-caryophyllène (l par 100 kg de MF)

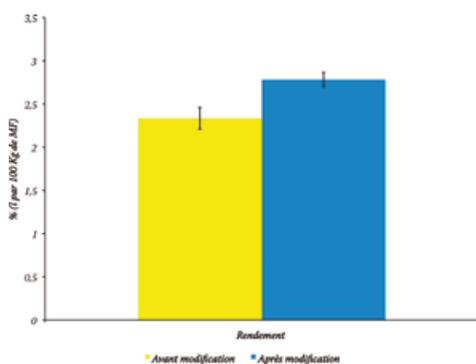


Figure 22 : Rendement total en huile essentielle après 15 heures de distillation

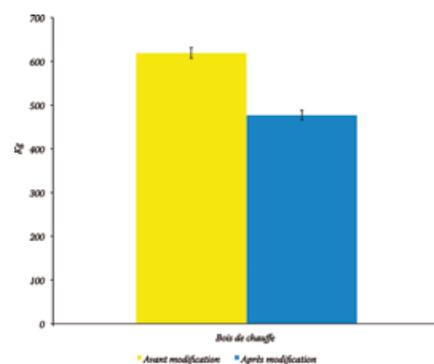


Figure 23 : Combustibles consommés



Tableau 3 : Composition chimique (%) des huiles essentielles de clous, de feuilles et de griffes

IR	Constituant	Groupe 1 : Clou	Groupe 2 : Feuille	Groupe 3 : Griffes
1176	Méthyl Salicylate	0-0,32	trace	0-0,56
1241	Chavicol	0-0,24	0-0,13	0-0,22
1348	Eugénol	72,08-82,36	75,04-83,58	87,52-96,65
1375	α -copaène	0-0,27	0-0,24	0-0,27
1387	Méthyl eugénol	0-0,08	0-0,24	0-0,15
1420	β -caryophyllène	2,76-8,64	11,65-19,53	1,66-9,72
1453	Iso-eugénol	0-0,24	0-0,24	0-0,83
1465	α -humulène	0,34-1,04	1,38-2,17	0,22-1,31
1494	Acétate d'eugényle	8,61-21,32	0-1,45	0,07-2,53
1585	Oxyde de caryophyllène	0,06-0,37	0,05-0,55	0,14-0,68

Tableau 4 : Composition chimique (%) des huiles essentielles de feuilles de girofle de Madagascar et de l'Indonésie

IR	Constituant	Groupe 1 : Madagascar	Groupe 2 : Indonésie
1176	Méthyl salicylate	0-0,32	0,04-0,16
1241	Chavicol	0-0,24	0,13-0,18
1348	Eugénol	72,08-80,71	77,32-82,36
1375	α -copaène	0-0,11	0,17-0,27
1387	Méthyl eugénol	0-0,06	0,04-0,08
1420	β -caryophyllène	2,76-6,38	5,34-8,64
1453	Iso-Eugénol	0-0,20	0,02-0,24
1465	α -humulène	0,34-1,04	0,65-1,04
1494	Acétate D'eugényle	11,68-21,32	8,61-10,55
1585	Oxyde De Caryophyllène	0,11-0,37	0,06-0,32

Tableau 5 : Composition chimique (%) des huiles essentielles de feuilles de girofle de Madagascar et de l'Indonésie

IR	Component	Groupe 1 : Madagascar	Groupe 2 : Indonésie
1176	Méthyl salicylate	trace	trace
1241	Chavicol	0-0,12	0,07-0,13
1348	Eugénol	80,87-83,58	75,04-77,54
1375	α -copaène	0-0,1	0,16-0,24
1387	Méthyl eugénol	0-0,1	0,15-0,24
1420	β -caryophyllène	11,65-15,02	17,04-19,53
1453	Iso-eugénol	0-0,24	0,08-0,13
1465	α -humulène	1,39-1,67	1,93-2,17
1494	Acétate d'eugényle	0,29-1,45	0-0,06
1585	Oxyde de caryophyllène	0,05-0,55	0,37-0,43

Tableau 6 : Composition chimique (%) des huiles essentielles de griffes de girofle de Madagascar, de l'Indonésie et de Zanzibar

IR	Component	Groupe 1 : Madagascar	Groupe 2 : Indonésie	Groupe 2 : Zanzibar
1176	Méthyl salicylate	0-0,56	0,06-0,20	0-0,27
1241	Chavicol	0-0,22	0	0
1348	Eugénol	91,81-96,65	88,76-89,28	87,52-89,47
1375	α -copaène	0-0,20	0,07-0,16	0-0,27
1387	Méthyl eugénol	0-0,15	0,03-0,11	0-0,15
1420	β -caryophyllène	1,66-4,48	7,40-7,75	7,19-9,70
1453	Iso-eugénol	0-0,80	0,01-0,03	0,01-0,10
1465	α -humulène	0,22-0,79	0,93-1,31	0,75-1,08
1494	Acétate d'eugényle	0,37-2,53	0,07-0,17	0,55-0,88
1585	Oxyde de caryophyllène	0,14-0,6	0,20-0,26	0,25-0,68

Tableau 8 : Composition chimique (%) des huiles essentielles de clous de girofle suivant les huit stades phénologiques

Constituant	RI	Groupe 1				Groupe 2			
		A	B	C	D	E	F	G	H
β -caryophyllène	1561	1,77±0,21	2,01±0,43	0,80±0,04	2,27±0,75	0,62±0,21	0,37±0,06	1,03±0,69	1,99±0,87
Oxyde de Caryophyllène	1993	0,48±0,12	0,74±0,63	0,27±0,13	0,25±0,15	0,06±0,03	0,27±0,09	0,60±0,19	1,01±0,61
Eugénol	2030	39,66±3,45	42,16±1,51	49,97±0,90	52,13±1,59	87,78±0,77	93,68±0,88	94,48±0,77	94,89±0,66
Acétate d'eugényle	2055	56,07±0,93	54,44±1,06	48,5±1,05	44,00±1,53	10,68±1,02	4,22±0,90	2,53±1,13	2,01±0,54

Tableau 10 : Composition chimique (%) des huiles essentielles de feuilles de girofle suivant les quatre stades de développement

Compounds	IR	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	
		A	B	C	D
β -caryophyllène	1561	5,64-6,97	5,66-8,63	5,21-5,70	4,63-6,42
Oxyde de caryophyllène	1993	0,06-0,15	0,03-0,08	0,06-0,10	0,13-0,24
Eugénol	2030	25,43-30,38	58,29-61,53	84,00-90,48	88,32-90,22
Acétate eugenyle	2055	61,44-65,52	26,67-32,65	0,96-7,16	0,36-1,64

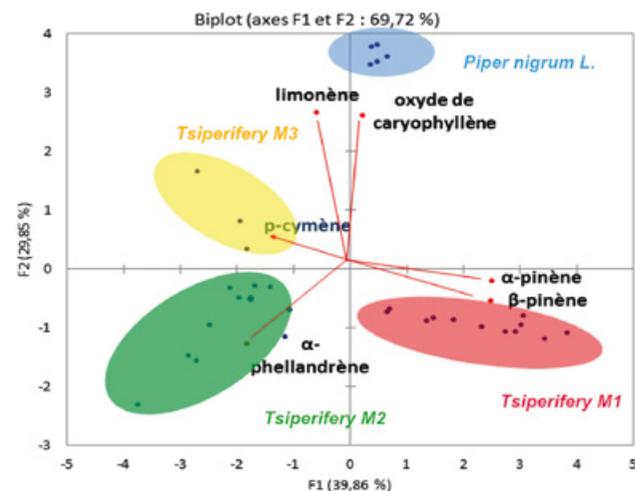


Figure 5 : Les différents groupes de poivres sauvages et de poivres classiques *Piper nigrum* obtenus après traitement statistique des données chimiques des HE extraites

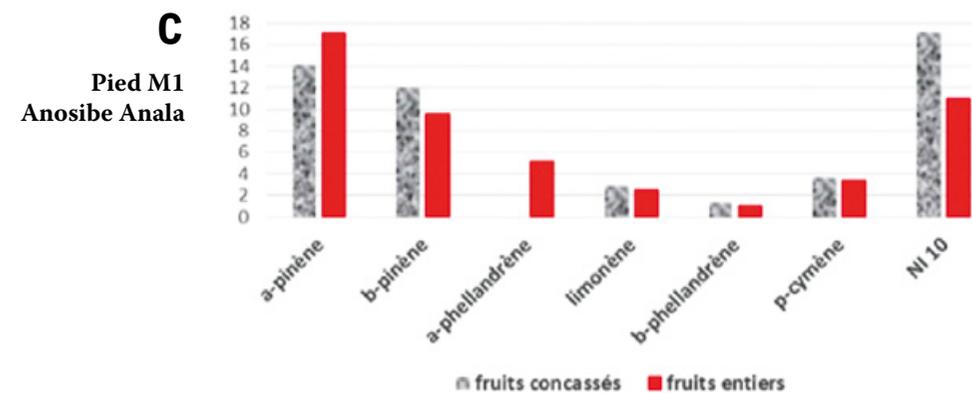
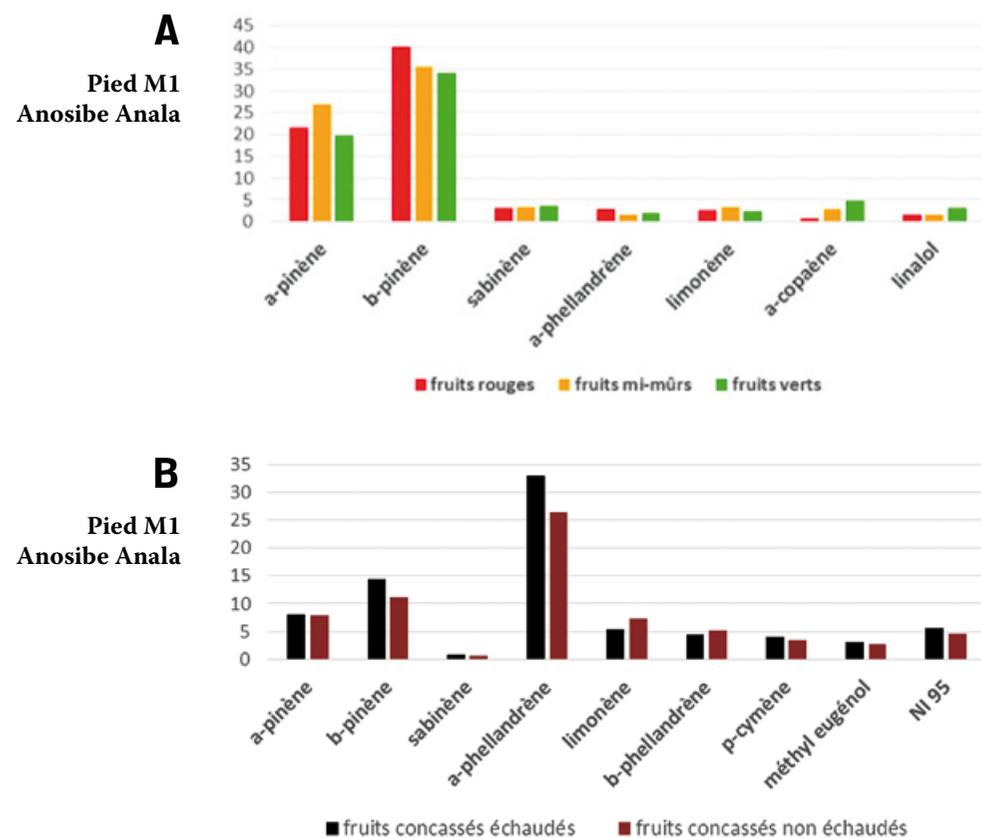


Figure 6 : Composition chimique des HE du Tsiperifery (A) Effet du degré de maturité des fruits M1; (B) Effet de l'échaudage des fruits M2; (C) Effet du concassage des fruits M1

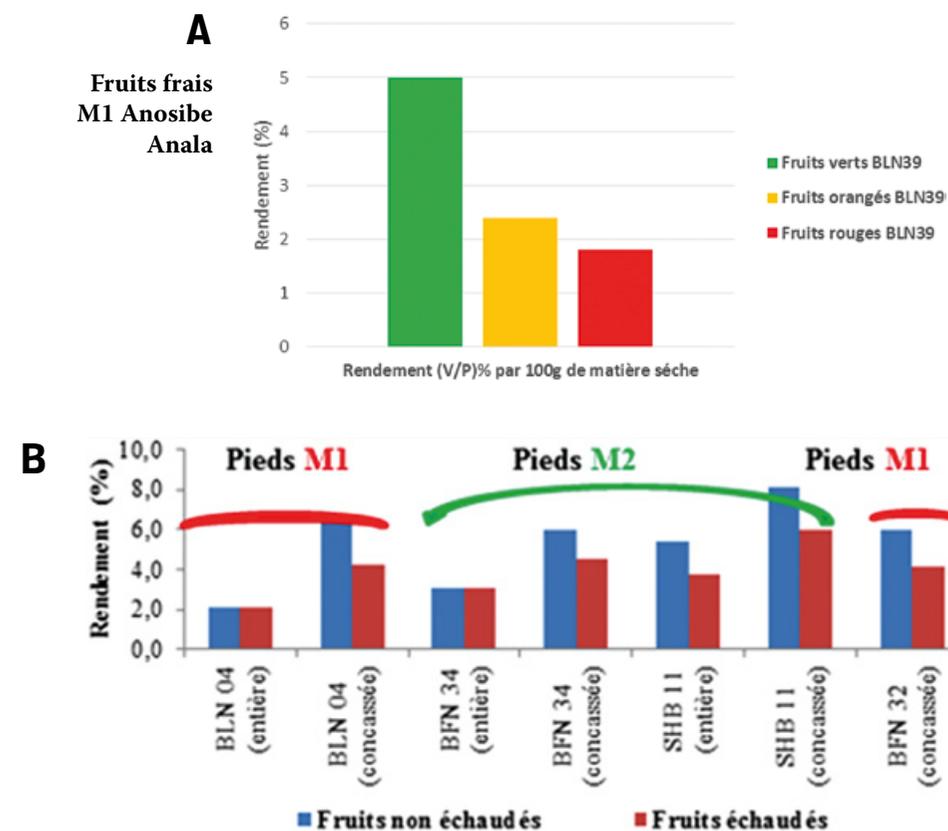


Figure 7 : Rendement en HE du Tsiperifery (A) Effet du degré de maturité des fruits M1; (B) Effet de l'échaudage et du concassage des fruits M1 et M2 d'Anosibe Anala (BLN, SHB) et de Beforona (BFN)

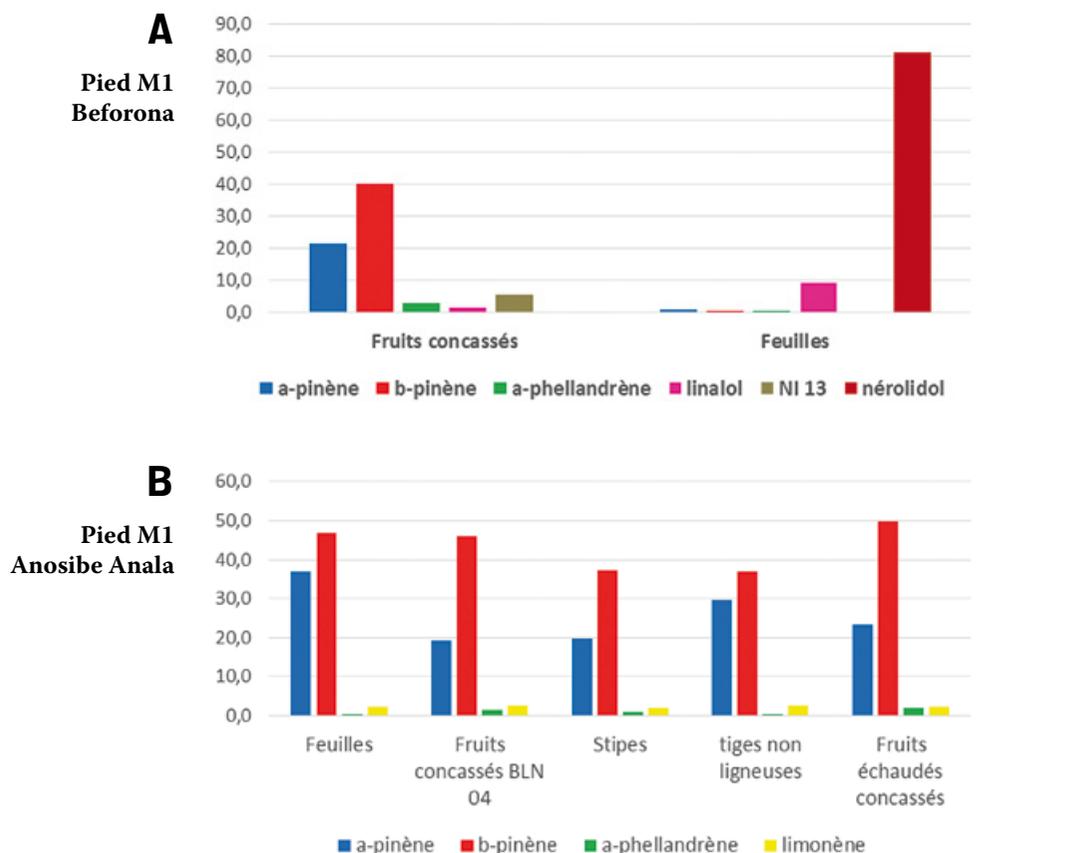


Figure 8 : Teneur relative (%) des constituants majoritaires des HE de pieds de morphotype M1 (A) Fruits et feuilles d'un pied M1 de Beforona ; (B) Fruits concassés échaudés et non échaudés, stipes, feuilles et tiges non ligneuses

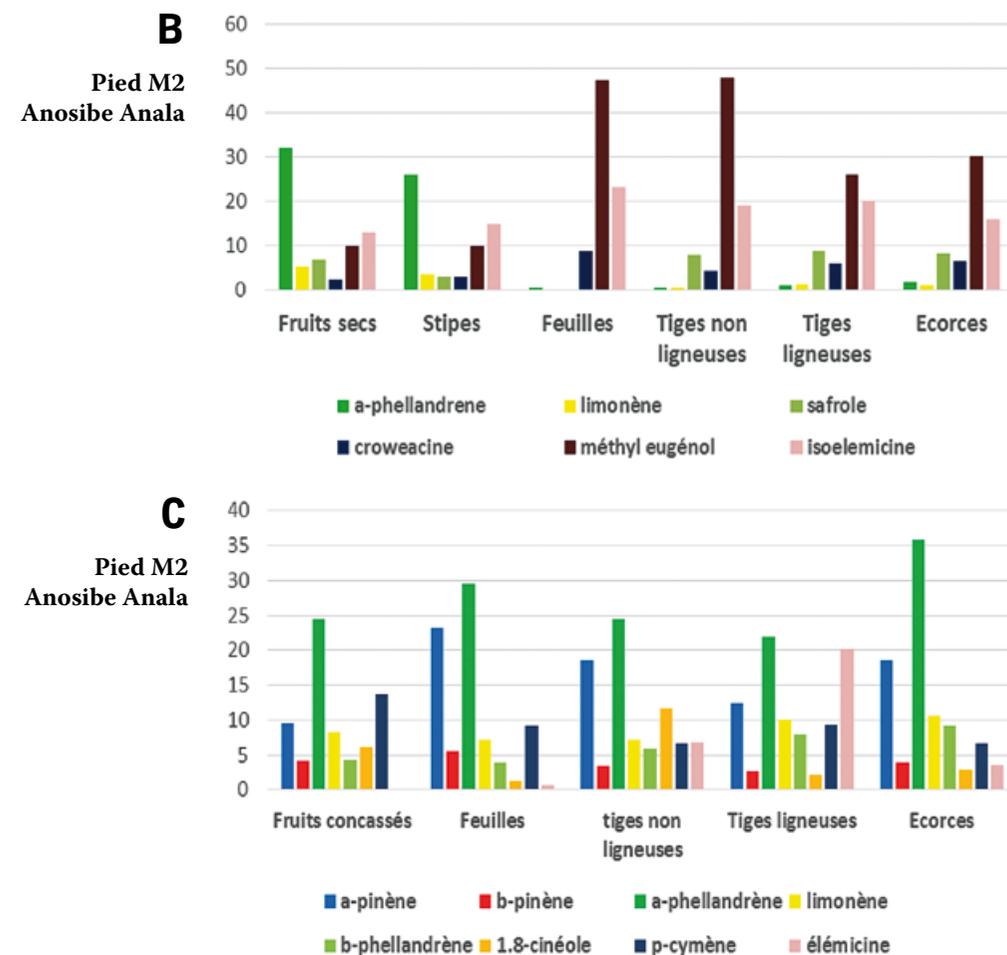


Figure 9 : Teneur relative (%) des constituants majoritaires des HE de pieds de morphotype M2 (A) Fruits concassés et feuilles d'un pied M2 de Beforona (B) Fruits secs, stipes, feuilles, tiges ligneuses et non ligneuses, écorces d'un pied M2 d'Anosibe Anala (C) Fruits concassés, feuilles, tiges ligneuses et non ligneuses, écorces d'un pied M2 d'Anosibe Anala

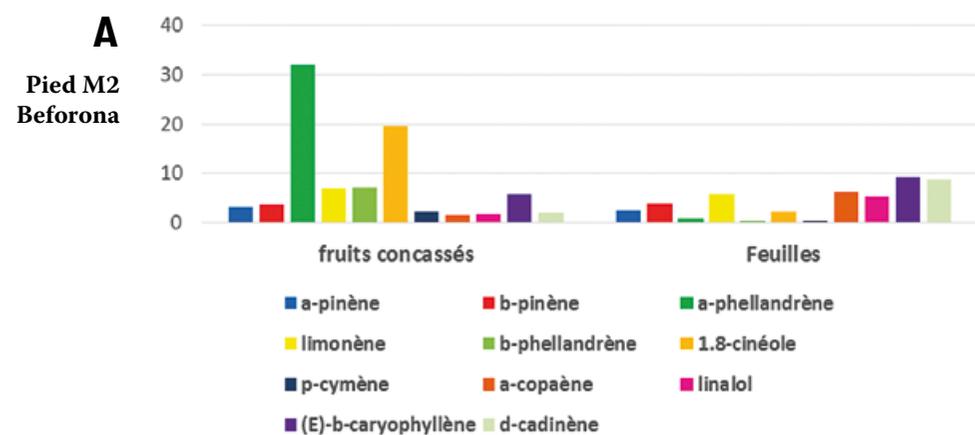


Figure 10 : Rendement moyen en HE extraites des différents organes de Tsiperifery

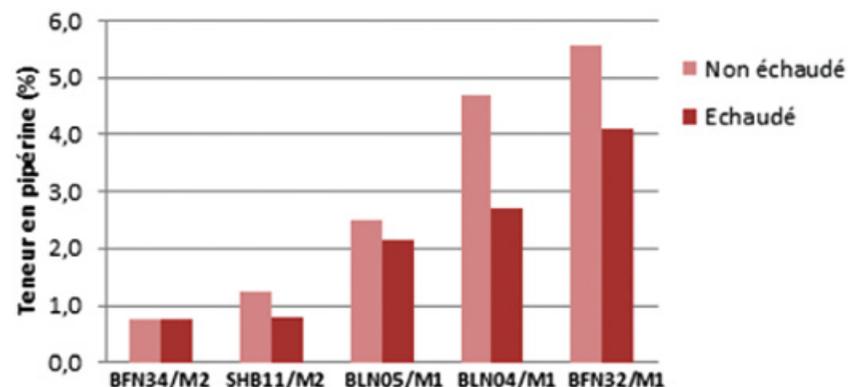


Figure 11 : Effet de l'échaudage sur le rendement en pipérine des fruits de Tsiperifery M2 de Beforona (BFN) et Anosibe Anala (SHB) ; BLN) et ceux de Tsiperifery M1 d'Anosibe Anala (BLN ; SHB) et de Beforona (BFN)

Les contraintes à l'intensification de la productivité et de la mise en marché des produits agricoles

*Lutter contre les maladies du riz et de la pomme de terre
Améliorer l'efficacité des Systèmes d'Information de Marché (SIM)*

A Madagascar, le riz occupe une place importante dans l'alimentation et l'économie. Avec un rendement moyen de 2,8 T/ha, il constitue l'aliment de base de la population malgache avec une consommation annuelle moyenne par habitant de 138 kg en milieu rural et 118 kg en milieu urbain, ce qui classe le pays parmi les plus gros consommateurs de riz au monde (UPDR/FAO, 2001). Sur les Hautes Terres peuplées de Madagascar, les paysans cultivent le riz irrigué partout où l'eau est disponible et l'aménagement des rizières possible : plaines irriguées, bas-fonds ou terrasses à flanc de colline. Pourtant, la production nationale n'arrive pas à satisfaire les besoins puisque le pays est contraint depuis 2009 à importer régulièrement du riz : 2012 est l'année record pour l'importation de riz avec près de 204 000 tonnes.

La pomme de terre occupe quant à elle, une place stratégique dans la politique de sécurité alimentaire à Madagascar, arrivant en quatrième position au niveau national en termes de production après le riz, le manioc et la patate douce (MAEP/UPDR, 2002). Elle contribue à la diversification alimentaire en zone urbaine, et assure à la population rurale, le rôle de complément ou de substitut du riz notamment en période de soudure.

La production agricole et sa mise en marché font pourtant face à des problèmes sanitaire et économique qui ne permettent pas d'assurer convenablement la sécurité alimentaire.

La production nationale rizicole est confrontée à la fois, à des attaques d'épidémie de pyriculariose, et sur le plan économique à la faiblesse de la circulation des informations sur le marché. Ces deux principales contraintes ne contribuent pas à stabiliser et rentabiliser la production : le revenu paysan diminue et les producteurs sont contraints à chercher d'autres sources de production ou de revenu.

La pomme de terre est un produit qui peut contribuer à la diversification alimentaire mais elle est aussi confrontée à un problème de flétrissement dû à la bactérie phytopathogène *Ralstonia solanacearum* qui inhibe l'intensification de sa production.

Recherche interdisciplinaire pour le développement durable

Application à différentes thématiques de territoire

et la biodiversité des espaces ruraux malgaches

Direction scientifique
Hervé Duchaufour

Editeurs scientifiques

Tantely Razafimbelo-Andriamifidy

Jacqueline Rakotoarisoa

Bruno Ramamonjisoa

Rakotondravao





Recherche interdisciplinaire pour le développement durable

Application à différentes thématiques de territoire

et la biodiversité des espaces ruraux malgaches

Direction scientifique

Hervé Duchaufour

Editeurs scientifiques

Tantely Razafimbelo-Andriamifidy

Jacqueline Rakotoarisoa

Bruno Ramamonjisoa

Rakotondravao

Antananarivo 2016



Mise au point des manuscrits et mise aux normes de la collection PARRUR

Hervé DUCHAUFOUR

Graphisme

Arsène Andriantsiferana, GROOVY ARTISTIK

Référence de l'ouvrage pour citation

DUCHAUFOUR H., RAZAFIMBELO T., RAKOTOARISOA J., RAMAMONJISOA B. et RAKOTONDRAVAO (Editeurs Scientifiques) - (2016) : Recherche interdisciplinaire pour le développement durable et la biodiversité des espaces ruraux malgaches. Application à différentes thématiques de territoire. Actes du projet FSP PARRUR « Partenariat et Recherche dans le secteur RURal ». Antananarivo SCAC/PARRUR, Ed. MYE, 400 pages



Dessin : Antso Andrianary

Fiarovana amin'ny riaka / La lutte contre l'érosion

Préface

Dr Claudine RAMIARISON

Directeur Général de la Recherche Scientifique

Des collectifs de recherche pour pérenniser les agroécosystèmes

La redynamisation de la recherche est au centre des préoccupations à Madagascar depuis ces dernières années. L'adaptation et le renouvellement de ses outils et méthodes face au contexte dans lequel elle évolue, sont indispensables afin d'améliorer les performances et lui permettre de prendre sa place dans le paysage économique et social du pays. La recherche a été marquée par d'importantes évolutions visant à lui donner plus de lisibilité.

Le présent ouvrage s'inscrit dans cette nouvelle dynamique de la R&D à Madagascar apportée par la stratégie nationale de la Recherche adoptée en 2013, ainsi que par les récents plans directeurs de la recherche, plus particulièrement celui portant sur l'agriculture, la sécurité alimentaire et nutritionnelle et, celui traitant de l'environnement et du changement climatique. Il porte sur l'analyse des multiples facettes du développement rural et de l'agriculture malgache, domaines de recherche ayant toujours fait partie des priorités à Madagascar.

C'est un recueil de travaux menés tout au long de ces cinq dernières années, avec le soutien du projet Fonds de Solidarité Prioritaire « Partenariat et Recherche dans le secteur RURAL », sur des thématiques très diversifiées du développement rural. Ces recherches répondent aux enjeux qui sont à la fois naturel, environnemental, économique, social et culturel.

Les besoins de la R&D actuels vont, en effet, au-delà des inventaires et de l'amélioration des connaissances, puisque de plus en plus les attentes de la population tendent vers la satisfaction des besoins économiques et vers une dimension de valorisation des ressources naturelles.

Accroissement de la demande agricole, baisse de la productivité, capacités de résilience face au changement climatique, font partie des enjeux pour lesquels des attentes sont fortement exprimées par la population et auxquels cet ouvrage donne des éléments de réponses. Ce qui le rend d'autant plus pertinents pour les prises de décision dans ce secteur de l'économie nationale.

Les thématiques traitées ont fait appel à des chercheurs d'origine diversifiée, nationaux comme internationaux, regroupés au sein de collectifs créés à cet effet. Elles abordent des sujets d'actualité, tels que les normes et la qualité des produits de rente, les enjeux et impacts du changement climatique, à travers les recherches sur le carbone du sol, les paiements pour les services environnementaux, l'analyse de certaines filières à forte valeur ajoutée ou encore, les problèmes de santé animale. En outre, la relance de certaines productions qui ont fait la renommée de Madagascar, les mécanismes de marché, ont fait l'objet d'études présentées dans cet ouvrage.

© PARRUR, 2016

ISBN : 000-0-0000-0000-0

Les approches dans la réalisation de ces travaux ont voulu innover, démontrant que les filières agricoles révèlent de multiples facettes et ne sont pas uniquement l'apanage d'une discipline unique ou encore d'une institution. Elles concernent aussi d'autres champs relevant des sciences de la nature et de l'environnement, ceux de la société et de la culture qui ont leurs apports dans la recherche sur le développement rural, les résultats obtenus s'en trouvent d'autant plus riches.

Le ton a été donné dès l'ouverture même des appels d'offre lancés requérant l'interdisciplinarité dans la composition des équipes, impliquant des opérateurs et autres utilisateurs des résultats et la collaboration entre institutions nationales et internationales.

L'objectif de cette mutualisation des ressources humaines et matérielles est d'optimiser les échanges de savoir-faire et de méthodes. Ce qui peut donner des résultats inattendus au sein de chaque collectif.

Ces collectifs créés constituent en tant que tel des dispositifs visant à améliorer l'efficacité des politiques de gestion même de la recherche à Madagascar. En tant que méthode, ils font partie de l'apprentissage dans ce contexte de mondialisation.

Les interactions entre formation-recherche-action, l'implication d'étudiants, de jeunes chercheurs, de doctorants aux côtés de chercheurs seniors et des partenaires traduisent une volonté de former à la recherche par la recherche, tel que préconisée dans la stratégie nationale de l'année 2013. Cette démarche répond aux besoins de former une relève permettant de pallier au vieillissement progressif du personnel chercheur et enseignant.

La pérennisation de ces approches de mutualisation par l'intermédiaire de ces pôles de compétence ou collectifs promus par la Stratégie Nationale de la Recherche de 2013, est destinée à faire avancer les réflexions scientifiques et, dans le cas présent, pour le bénéfice du développement rural à Madagascar. Elle devient un impératif pour améliorer les performances. Elles commencent à être visibles, plus particulièrement avec la collaboration progressive entre les écoles doctorales et les centres nationaux de recherche, dans le développement de projets communs, visant à rationaliser les activités et les fonctions.

Certes, il existe des contraintes liées à des cloisonnements disciplinaires que les chercheurs doivent surmonter. Mais les travaux menés dans le cadre du FSP PARRUR qui sont présentés dans le présent ouvrage, ont valeur d'expériences pour la conduite de recherche mutualisée dans le domaine du développement rural.

La pertinence des approches peut être appréciée à travers les résultats des travaux menés ; de même, les échanges au sein des équipes pluridisciplinaires permettent de mieux faire face aux enjeux et défis nouveaux.



« Les connaissances sont de plus en plus segmentées et les problèmes à résoudre de plus en plus complexes et globaux »
Edgar Morin, article du journal Le Monde du 27/02/1998

Présentation

Hervé DUCHAUFOUR

Chef de projet PARRUR
Coopération franco-malgache en appui à
l'Enseignement Supérieur et à la Recherche Scientifique

Un pays riche, des territoires variés mais une ruralité stagnante et pauvre !

L'étendue des territoires de Madagascar lui permet de disposer d'un potentiel agricole considérable à l'image de la diversité de ses produits agricoles, de sa richesse de cultures d'exportations (cacao, vanille, litchi, épices...) et de ses ressources naturelles dont la plupart sont autant emblématiques qu'endémiques.

Bien que le secteur agricole emploie 86 % de la population nationale dont 60 % de jeunes, il ne contribue qu'à 26 % du PIB du pays (Note d'Orientation Politique du PSAEP-CAADP, 2014). Le développement de son agriculture, insuffisamment utilisée et dominée par la riziculture et l'élevage bovin, se heurte à de nombreux problèmes auxquels s'ajoute une faiblesse de la gouvernance des sous-secteurs AEP¹. Les petits producteurs agricoles souffrent de l'accès insuffisant aux marchés et aux financements destinés à l'achat d'intrants, aux investissements nécessaires pour améliorer les performances de leur agriculture familiale et de la faiblesse de la couverture sanitaire et de la santé publique. Nombreux sont les pauvres des régions reculées les moins favorisées qui ne peuvent profiter des technologies mises au point par la Recherche-Développement en particulier dans les territoires où les politiques publiques ne sont pas porteuses.

Néanmoins, grâce à leur savoir-faire et leurs modes d'organisation autochtones, les populations rurales luttent contre la crise alimentaire et font face au changement climatique en recherchant et adaptant par eux-mêmes des modes de production et d'organisation informels. Les solutions créatives de ces petits exploitants peuvent être une source d'amélioration et d'intensification de la productivité agricole dans les régions aux conditions climatiques les plus favorables et riches en ressources mais leurs actions informelles ne sont pas forcément durables.

Le rôle de la recherche pour le développement durable et la sécurité alimentaire à Madagascar

Le développement de la recherche et de l'innovation dans le secteur rural formel s'est accéléré ces trente dernières années grâce à la création des Centres Nationaux de Recherche (CNR) qui ont appliqué des méthodes scientifiques dans les économies des zones rurales malagasy. Depuis les années 90, les priorités

¹ AEP : Agriculture-Elevage-Pêche.

de la Recherche-Développement dans les sous-secteurs AEP ont été définies par les pouvoirs publics avec l'aide des institutions de recherche internationales et des Partenaires Techniques Financiers (PTF), en proposant comme nouvelle orientation, l'intensification et le développement durables contre la réduction de la pauvreté et l'insécurité alimentaire, tout en conciliant une croissance économique rapide (PSAEP-COMPACT, 2015).

La Recherche-Développement s'est adossée aux politiques publiques opérées à travers les nombreux programmes et projets portés par les documents de références qui se sont échelonnés au fil des années (DSRP, LPDR, PNDR, MAP, SNRD, PNIAEP, PSAEP-COMPACT). Devant l'étendue des contraintes et des problèmes du paysannat rural, son rôle et son importance pour le développement à Madagascar sont indéniables : sa vocation est de répondre aux enjeux cruciaux en matière de sécurité alimentaire, de nutrition, d'augmentation des revenus et de conditions de vie des petits producteurs ruraux, tout en limitant les impacts négatifs sur l'environnement.

Répondre à de nouveaux défis

Au-delà des questions d'augmentation de la production et d'intensification agricole, la recherche dans le secteur rural malgache doit tenir compte des nouveaux défis liés à la mondialisation et au changement climatique. Le chercheur est désormais contraint à sortir de sa tour d'ivoire en ciblant ses objectifs de recherche en fonction des conditions locales, en se souciant d'associer les ruraux les plus défavorisés en tant qu'acteurs et en les aidant à se libérer de leur pauvreté par différents moyens :

- Amélioration de la nutrition (*productivité et qualité d'un produit*) ;
- Augmentation de la résilience (*durabilité et viabilité d'un espace/milieu/espèce*) ;
- Adaptation au changement climatique (*agriculture intelligente face au changement du climat*) ;
- Accès équitable aux ressources naturelles productives en améliorant leur utilisation post-récolte et accès à la technologie génétique (*partage juste et équitable des avantages liés aux ressources*) ;
- Accès à l'information des prix aux marchés (*traçabilité des prix agricoles pour tous*) ;
- ... Mais aussi par la préservation de la biodiversité qui constitue, avec la terre et l'eau, leur première richesse patrimoniale.

Etablir de nouvelles relations entre la recherche et les populations rurales

Lorsque l'on parle de développement rural, le terme dépasse la simple notion de développement agricole. Il englobe l'espace rural où les « agricultures » sont au centre du système socio-économique mais au sein duquel il existe des fonctionnalités multiples et des activités diversifiées pour lesquelles le chercheur, en lien avec le développeur, les intégrera sur le terrain dans un objectif de développement cohérent.

Ainsi, pour mieux servir l'économie, l'environnement et la société des territoires ruraux, les chercheurs ont rénové leurs méthodes de recherche avec des approches plus intégratives et participatives mettant l'agriculteur au premier plan, ceci à chaque étape du processus d'innovation. L'interdisciplinarité, l'approche systémique et la démarche itérative sont devenues leur « *modus operandi* » et s'inscrivent dans cette optique de développement durable et solidaire donnant aujourd'hui plus de crédibilité aux collectifs de recherche qui désormais mettent en place la participation effective des bénéficiaires à la définition et à la mise en œuvre des priorités de la recherche.

Création d'un fonds compétitif

Le Document Cadre de Partenariat (DCP) Madagascar/France (2006-2010) a retenu le secteur du développement rural comme un axe prioritaire de la coopération franco-malgache et la protection de la biodiversité ainsi que le renforcement des capacités par l'enseignement supérieur et la recherche comme des domaines transversaux de partenariat à privilégier. C'est ainsi que le Projet PARRUR (« Partenariat et Recherche dans le secteur RURAL »), financé sur le Fonds de Solidarité Prioritaire (FSP) de la coopération française, a été conçu en 2009 pour favoriser le décloisonnement de la recherche malgache dans le secteur du développement rural² par la promotion de dispositifs en partenariat, en lien avec les communautés scientifiques régionale et internationale.

Le FSP PARRUR a été appelé à financer des projets de Recherche-Développement pour promouvoir le secteur rural, construits sur la base de trois critères distinctifs : « Partenariat, interdisciplinarité et mutualisation des compétences » et répondant à trois objectifs spécifiques :

- Recherche sur des systèmes innovants (production et filière) ;
- Renforcement des capacités des producteurs et développement d'innovations technologiques à fort impact ;
- Valorisation des résultats de la recherche auprès des bénéficiaires.

Trois appels à propositions ont été lancés entre 2010 et 2013, chacun ciblant des thématiques spécifiques au développement des espaces ruraux et pour lesquelles se sont constitués des collectifs de recherche pluridisciplinaires regroupant des acteurs de la Recherche-Développement franco-malgache : i) en premier lieu des équipes de la recherche publique issues des CNR et du réseau universitaire malgaches (étudiants de master et des écoles doctorales) ; ii) des chercheurs d'institutions de recherche françaises (IRD, CIRAD, IP, INRA, IFREMER et CNRS) ; iii) des acteurs de terrain représentés le plus souvent par des associations paysannes et des ONG des secteurs environnemental, agricole, agroalimentaire et halieutique ; enfin, iv) des opérateurs du développement à l'exemple des services déconcentrés de l'Etat, des organisations professionnelles ou des entreprises à vocation commerciale.

Les projets ont été sélectionnés par un comité scientifique (indépendant du comité de pilotage) comprenant des scientifiques issus des milieux de la recherche franco-malgache. Ce comité était co-présidé par le chef de projet et une personnalité scientifique indépendante.

Au total, quatorze collectifs ont reçu une subvention allant de 32 à 75 K€ par projet. Chacune des équipes constituées a réuni entre 10 et 20 chercheurs de disciplines différentes. Cet ouvrage présente le résultat scientifique de onze d'entre eux et vient compléter la liste des ouvrages déjà parus dans la collection des éditions PARRUR³.

² Secteur qui fait référence aux domaines de l'agronomie, foresterie, l'environnement, les sciences économiques et sociales.

³ Collectif SYLVA TERRA (2014) : La terre : A qui, pour qui, pourquoi ? (CITE-PARRUR, 196 pages) ; Collectif FPPSM (2015) : Transitions agraires au Sud de Madagascar. Résilience et viabilité, deux facettes de la conservation (IRD- PARRUR, 366 pages).

Les collectifs de recherche « PARRUR » : Un exemple de recherche thématique pluridisciplinaire pour un modèle de développement rural

Parmi les onze projets, plusieurs font état de « recherches-filières » importantes pour l'alimentation humaine ou pour des opportunités de revenus pour les populations rurales. Le développement d'itinéraires techniques, la mise au point de méthodes de lutte et de leur diffusion auprès des producteurs et l'adoption de technologie de transformation constituent l'axe prioritaire de leurs travaux de recherche. Selon les sujets traités, les collectifs ont répondu aux différents défis exposés en fonction des modèles et des techniques dont les groupes cibles ont besoin :

- **« Réveiller un trésor en sommeil », tel est le slogan porté par les PTF pour relancer la cacaoculture du Sambirano. La recherche y participe ! :**

Grâce à la combinaison d'un climat chaud et humide et de la fertilité du sol, la vallée du Sambirano peut produire les 3 principales variétés de cacao les plus demandées dans le monde. Entre les années 1960 et 1972, l'Institut Français du Café et du Cacao (IFCC) a effectué des recherches sur la sélection de variétés de plants de cacao (Criollo pure - Trinitario hybride), recherches qui ont ensuite été abandonnées durant plus de quarante années. Ces anciennes recherches sur les variétés et les introductions de plants dans les vergers font que le cacao malgache est considéré aujourd'hui comme l'un des meilleurs du monde en obtenant en 2015 le label Cacao Fine de l'Organisation Internationale du Cacao (ICCO-Londres). Les travaux du collectif ont consisté à relancer de toute urgence la recherche sur la **sélection variétale de plants de cacao (chapitre 1)** à partir des 22 clones rescapés des anciennes collections de l'IFCC. Deux procédés ont visé à rehausser la qualité organoleptique des fèves, l'un consistant à la création de champs semenciers biclonaux à partir de la multiplication végétative de plants, le second par la multiplication par embryogénèse somatique des clones sélectionnés. Durant les cinq prochaines années, la recherche s'est engagée à produire plus de 3 millions de plants Criollo/Trinitario pour le compte du projet « Pôles Intégrés de Croissance et Corridors » (PIC2)⁴. En même temps, un important volet de sensibilisation et d'accompagnement à la rénovation des vergers paysans est programmé pour les prochaines années ;

- **Valoriser des espèces à fort potentiel de rente, destinées à l'exportation :**

L'une d'entre elles, peu connue, **le tsiperifery (chapitre 3)**, fait partie des épices rares, recherchées et appréciées des pays consommateurs sous le nom générique de « poivre sauvage à queue ». Cette espèce endémique à Madagascar offre des opportunités de diversification d'activités et de revenus pour les populations rurales mais la désorganisation de la filière et les pratiques de récolte destructives et incontrôlées nécessitent de mettre en place rapidement des techniques de récolte et post-récolte plus durables et de domestiquer le poivrier en le sélectionnant en fonction de la qualité des morphotypes identifiés. D'autres, comme le **girofle (chapitre 2)**, font la renommée de Madagascar à l'exportation. Toutes les parties du giroflier - feuilles, fleurs et fruits - ont des propriétés aromatiques mais leurs caractères parfumés varient selon les stades phénologiques de la plante et les techniques post-récoltes pratiquées. Les recherches ont non seulement permis d'identifier les optimums de qualité et de rendement des huiles essentielles extraites de ces différents matériels végétaux (feuilles et clous) mais aussi contribuent à réduire significativement la consommation en bois-énergie nécessaire à leur extraction ;

- **Assurer aux agriculteurs des Hauts Plateaux un accès à des semences et plants de bonne qualité adaptés localement** afin de lutter contre les maladies et ravageurs de grandes cultures (riz pluvial et pomme de terre) :

La **pyriculariose du riz pluvial (chapitre 4)**, maladie provoquée par un champignon, largement répandue dans les bassins de production malgaches, peut provoquer des ravages lorsque les conditions sont favorables atteignant parfois des pertes jusqu'à 100% de la récolte. De même, le **flétrissement bactérien de la pomme de terre (chapitre 5)** causé par un pathogène bactérien provoque de graves pertes dans les zones de production d'altitude du Vakinankaratra. Le succès des moyens de lutte contre ces maladies s'est développé grâce à la disponibilité et la diffusion de technologies avancées par la Recherche-Développement lesquels contribuent significativement à la sécurité alimentaire de ces régions d'altitude. L'objectif consiste à accroître la production du riz pluvial et de pommes de terre tout en protégeant les producteurs et l'environnement grâce à l'adoption d'une approche holistique intégrée de protection des cultures : sélection de variétés résistantes (plants et semences sains) qui réduisent le développement de la maladie et des parasites courants et adoption de pratiques culturales améliorées (rotation des cultures, compostage, plantes de couvertures) qui améliorent la qualité des sols ;

L'instabilité et l'envolée des prix agricoles sont néfastes autant pour les producteurs que les consommateurs les plus pauvres. Ce thème est au cœur des débats politiques lorsqu'il est suivi de crises alimentaires dans les pays les plus vulnérables et les plus sensibles aux aléas climatiques (cyclones, sécheresse) et attaques de criquets. La question de la gestion de l'instabilité des prix et de leurs instruments devient un sujet d'actualité qui préoccupe et mobilise de plus en plus les chercheurs et leurs partenaires. Leur objectif est de mettre en place des systèmes d'information efficaces et bon marché dont l'effet permettrait de limiter les obstacles à l'accès aux marchés et à la détérioration des termes de l'échange entre les zones rurales pauvres et les principaux marchés. Cependant, si la mondialisation et le progrès technique sont en effet associés à toute une série d'évolutions technologiques touchant les systèmes d'information, la production, les biens et les services, une des questions que le chercheur se pose est de savoir si ces avantages sont pour autant généralisables et uniformes et donc profitables pour tous.

- **Comment faire accéder et profiter aux ruraux les plus pauvres des technologies de l'information et de la communication pour faire face à la libre concurrence et à la « défaillance » des prix des marchés ? :**

Un collectif et ses partenaires, un opérateur privé et des ONG, se sont interrogés sur l'opérationnalisation et le bienfondé des **Systèmes d'Information des Marchés (SIM) au niveau de la filière riz (chapitre 6)**. Leurs études ont comparé deux bassins de productions à Madagascar, l'un bien desservi et proche de la capitale, le second enclavé avec des services d'infrastructures et de réseau routier défaillants. Les travaux ont porté sur deux aspects : i) analyse de l'impact des améliorations de communication dont l'effet attendu est d'homogénéiser la demande, et ii) le suivi des niveaux de concurrence sur les marchés. Différentes catégories d'acteurs intervenant dans la chaîne de commercialisation et distribution du riz ont été enquêtées, des petits producteurs les plus pauvres et les plus reculés qui bénéficient le moins de ces services jusqu'aux plus gros collecteurs et revendeurs dont les stratégies de commercialisation intensifient la concurrence des prix des principaux marchés. Les résultats de leur expertise scientifique mettent clairement en évidence la nécessité d'anticiper les besoins et la définition d'une politique de stabilisation des prix ainsi que l'émergence d'une forme de gouvernance au niveau des marchés impliquant de fait, une certaine coordination entre l'Etat et les acteurs privés les plus influents de la filière. Au niveau des territoires de production, les programmes d'appui à la filière ont le devoir de mettre en avant des stratégies d'action qui permettraient d'élargir le marché ; celles-ci passeraient d'une part par le développement de l'esprit d'entreprise et de la gestion communautaire des stocks des populations pauvres, et d'autre part par des échanges équitables et formels entre grands et petits producteurs.

⁴ Contrat entre la station de recherche du FOFIFA à Ambanja et le projet PIC2.

L'élevage est un enjeu majeur à Madagascar puisque l'animal constitue une source d'alimentation pour la famille et une source de revenus et d'épargne pour les exploitants. Dans le domaine de la santé animale, la situation de Madagascar fait face à des maladies responsables d'épizooties meurtrières ainsi que de zoonoses majeures qui sont loin d'être globalement maîtrisées faute de campagnes de sensibilisation et de vaccination adaptées à l'échelle du pays. Les recherches effectuées par deux collectifs ont d'abord une vocation sanitaire afin de réorienter les actions vis à vis de certaines de ces maladies qui ont essentiellement un impact économique. Elles contribuent également à faire face aux crises sanitaires qui peuvent se développer localement et qui souvent, mobilisent des moyens financiers et humains considérables.

- **Mieux connaître la diversité génétique du matériel halieutique pour accroître la performance zootechnique des produits piscicoles :**

Depuis plus d'un demi-siècle à Madagascar, le succès de la *pisciculture familiale et de la rizipisciculture (chapitre 7)* chez les petits producteurs d'alevins (écloserie paysanne) et éleveurs-pisciculteurs (grossissement) est grandissant. Cette augmentation de la production piscicole, notamment du tilapia et de la carpe, réduit significativement l'insécurité alimentaire et la malnutrition des populations rurales. Cependant, cette intensification et accélération piscicole n'ont jamais fait l'objet de recherche intensive et de suivi sur le développement des souches introduites par les centres d'expérimentations de l'époque. Un collectif s'est constitué pour dédier ses recherches à la génétique de la carpe (comparée parallèlement à celle du tilapia) à Madagascar. Une approche globale de la gestion de la variabilité génétique chez les populations de carpe, fondée à la fois sur un examen des pratiques et sur des études génétiques des populations de carpe montre l'adaptation des poissons aux différents milieux, sauvages et d'élevage, et l'existence de trois populations de carpe différentes sur le plan génétique qui seraient la conséquence des différentes introductions successives. Ces résultats apportent de précieuses informations pour l'élaboration des stratégies d'appui à ce secteur.

- **Participer à la mise en place d'une bonne politique de lutte contre la cysticercose et la maladie de Newcastle qui constituent un problème de santé publique important à Madagascar :**

La prévalence active de la *cysticercose (chapitre 9)* y est estimée à 10%. Elle indique une forte endémicité qui place le pays parmi les plus touchés du monde. Elle peut atteindre les sujets de tous les âges et est présente aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural. La maladie de *Newcastle (chapitre 8)* quant à elle, est la première maladie des volailles à Madagascar. Elle est présente dans tout le pays et occasionne une perte économique importante liée à la propagation de ce virus, souvent négligé par les éleveurs de volailles. Ces derniers accordent insuffisamment d'importance aux mortalités répétées au sein de leur cheptel alors que ces deux maladies constituent une grande menace pour la santé animale et celle des consommateurs. A cela s'ajoute le manque de sensibilisation des éleveurs concernant les épidémies qui rend très difficile le suivi et la maîtrise des dispositifs d'épidémiologie-surveillance (FERT-FIFATA, 2012). Deux collectifs ont donc consacré leurs efforts de recherche pour mettre en place des mesures efficaces de *lutte contre ces deux maladies animales*. Leurs objectifs à moyen terme est d'entraîner une chute importante de la prévalence en améliorant les performances productives de ces élevages (porcs et volailles) au niveau de l'exploitation, de maîtriser les épidémies et de protéger les consommateurs.

Il est présent dans les esprits de tous les malgaches, mais aussi celui des touristes vazaha. *Le baobab (chapitre 10)* est un arbre qui détient tous les records, celui de longévité, de tour de circonférence... Appartenant aux espèces succulentes, le parenchyme spongieux de son tronc se gorge d'eau, ce qui lui permet ainsi de résister à de longues sécheresses. Sur les huit espèces dans le monde, six sur les sept présentes à Madagascar sont endémiques et classées sur la liste rouge des espèces en danger d'extinction

par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). Aujourd'hui, les parcs forestiers à forte population de baobabs de l'Ouest de Madagascar se réduisent comme une peau de chagrin et ces géants se retrouvent de plus en plus isolés au milieu d'un espace agricole voué à l'agriculture vivrière sur brûlis (hatsaky). Depuis longtemps, les chercheurs se sont intéressés à ces arbres emblématiques ; un collectif impliquant des spécialistes seniors et de jeunes doctorants, a voué entièrement ses travaux de recherche à la compréhension de la résilience de ces espèces dans le but de préserver leur biodiversité. La biologie des baobabs est particulièrement difficile à étudier : la floraison s'étale sur une courte période et les fleurs, éphémères, éclosent la nuit. En revanche, les fruits (graines des drupes) présentent un épais tégument résistant qui permet à la graine de persister plusieurs mois en attendant les conditions les plus favorables à la germination. De jeunes chercheurs se sont intéressés aux différents modes de reproduction des baobabs de l'Ouest malgache : du parfum émis par les fleurs qui attire les visiteurs-pollinisateurs ; de la levée tégumentaire des graines dans le transit intestinal de grands vertébrés ; de leur dispersion sur de grandes distances par l'eau ; de la prédation des jeunes pousses par les achatines. Le lecteur découvrira toutes ces caractéristiques écosystémiques qui font que cet arbre se régénère tant bien que mal malgré un milieu environnant de plus en plus hostile.

La littérature scientifique regorge d'exemples de modes d'utilisation des sols maximisant l'utilisation de l'énergie lumineuse et de l'eau pour optimiser la production de biomasse, développer les cycles des minéraux et de la matière organique, éviter les pertes en eau, jouer sur les effets allopathiques entre les plantes et les microorganismes et enfin, tirer parti des caractéristiques de diverses espèces cultivées pour minimiser la compétition entre elles et maximiser leurs complémentarités. Ce type de raisonnement écosystémique est l'apanage d'un réseau de recherche très actif à Madagascar qui oriente ses travaux pour mettre en valeur ces processus dans différents milieux agroécologiques et favoriser le développement de systèmes agricoles durables et donc « écologiquement intensifs ».

- **Optimiser les processus agroécologiques en utilisant au mieux les propriétés des agroécosystèmes cultivés pour lutter contre le changement climatique :**

Le collectif s'est basé sur des observations et pratiques des agriculteurs de gestion durable et sur la performance de leurs écosystèmes agroforestiers à base de giroflier développés dans les territoires de l'Est de Madagascar. Les résultats de leurs observations montrent que l'association agriculture - élevage, l'agroforesterie, le développement de cultures associées, les techniques de SCV (« agriculture de conservation ») opérés dans différentes situations de milieu, permettent de restaurer la fertilité des sols et d'améliorer la résilience des systèmes de culture associés au couvert forestier par l'entremise de la *séquestration du CO₂ (chapitre 11)*. Au même titre que les cacaoyères sous couvert du Sambirano, ces recherches opérées dans les systèmes agroforestiers frontaliers aux corridors forestiers, viennent confirmer la nécessité de combiner les connaissances paysannes et celles des chercheurs pour mettre au point des indicateurs du changement. De tels systèmes durables pourront être transposables et adaptés à d'autres conditions socio-économiques et écologiques locales et faire partie des nouvelles stratégies d'adaptation et d'atténuation avec les parties prenantes, les PTF et opérateurs de terrain en priorité. Les ONG peuvent effectivement jouer un rôle important de médiateurs et de partenaires dans l'établissement de ces relations et dans la mise en oeuvre de recherches en partenariat... L'exemple du programme « Mahavotra », opéré par AGRISUD International et Fondation GOODPLANET dans la région Itasy, en est la parfaite démonstration.

Partager la connaissance et former les formateurs pour que les jeunes agriculteurs puissent exploiter une plus large part de la chaîne des valeurs

Il ne peut y avoir de bons conseils prodigués aux agriculteurs sans service de vulgarisation efficaces, efficaces et surtout, sans contenu ! Convaincu que la formation professionnelle agricole constitue l'une des clefs du développement rural, le projet PARRUR s'est fermement engagé à mettre les connaissances issues de sa Recherche-Développement au service de l'action de la politique et de la formation professionnelle agricole.

Aucun des collectifs n'a été négligé même si au départ, la plupart des chercheurs considéraient qu'il s'agissait d'un surplus de travail et d'un nouveau métier (chercheur-vulgarisateur) qui n'entraîne pas directement dans leur champ de compétences ! Une démarche réflexive, suivie d'une mobilisation active, ont ainsi permis de faire une mise au point sur les initiatives et les opportunités prometteuses de leur production scientifique.

Un volet du projet PARRUR, dénommé « Capitalisation-Valorisation-Communication/Diffusion » (CVC/D) des résultats de la recherche, leur a été consacré. Différents modèles et supports de vulgarisation ont été élaborés avec l'appui de la cellule du projet pour une diffusion à grande échelle auprès des populations cibles. Sa vocation est de répondre de manière adaptée et différenciée aux difficultés spécifiques ressenties par les agriculteurs au moyen de messages clés, de conseils et de mesures accessibles.

Son contenu est inséré dans un DVD-ROM. Ce dernier comprend la fourniture de la production scientifique, notamment les articles parus dans des revues spécialisées, mais surtout les outils pédagogiques (*cahier de vulgarisation, posters, affiches, catalogues de variétés, dépliants*) rédigés dans les deux langues pour une diffusion des messages sur le terrain. D'autres supports sont destinés préférentiellement à l'enseignement professionnel et numérique (*films documentaires⁵, podcasts⁶, contenus d'écoles thématiques, modules de formation, etc.*).

Ce volet CVC/D PARRUR favorise la libre circulation de l'information documentaire, scientifique et technique. Il est donc à considérer comme un service à la formation continue et non formelle dont l'utilisation potentielle est destinée aux programmes mis en place dans le cadre de la refonte du système de la formation professionnelle agricole à Madagascar (FORMAPROD, 2014). Quelques uns de ces outils peuvent également être facilement exploités par les instituteurs des écoles rurales.

Ce volet doit aller au-delà de la simple fourniture d'informations techniques aux populations cibles, que ce soit sur le type de variétés de semences à utiliser, la façon de lutter contre les maladies et les ravageurs ou la diffusion de techniques de semis sous couvert végétal performantes...

Une approche pluraliste de son utilisation est aussi à encourager avec l'implication des ONG, notamment pour :

- Impulser des compétences «transversales», non techniques ;
- Générer et promouvoir des innovations auprès des associations paysannes, des petites entreprises de transformation ou de différents groupes et individus opérant tout au long des chaînes de valeur ;
- Autonomiser les agriculteurs en les aidant à développer leurs capacités à tirer parti des opportunités de marché, à s'adapter au changement climatique, à forger de nouveaux partenariats, à apprendre comment utiliser au mieux les technologies de l'information et de la communication.

⁵ Accessibles sur le site You Tube : <https://www.youtube.com/channel/UCpyWy1iXyNUosd55Nw3uzNw>

⁶ Mis en ligne sur la plateforme audiovisuelle UNuM.pod : <http://pod.irenala.edu.mg/videos/>

Acronymes et abréviations

ACP	: Analyse en Composantes Principales
ACM	: Agent Communautaire de Santé Animale
ACSA	: Agent Communautaire de Santé Animale
ADAPS	: Association pour le Développement de l'Agriculture et du Paysannat du Sambirano (Ambanja)
AFC	: Analyse Factorielle de Correspondance
Ag	: Antigène
AGRISUD	: Organisation de solidarité internationale française (Bordeaux - France)
AFDI	: Agriculteurs Français et Développement International
APDRA	: Association française pour le développement de la pisciculture paysanne
ARDA	: Association Régionale de Développement Aquacole
AVSF	: Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières
BM	: Banque Mondiale
C	: Carbone
CAH	: Classification Ascendante Hiérarchique
CC	: Changement Climatique
CDC	: Center for Disease Control (CYSTICERCOSE)
CNR	: Centre National de Recherche (Madagascar)
CNRE	: Centre National de Recherches en Environnement (Madagascar)
CNRS	: Centre National de la Recherche Scientifique (France)
COI	: Commission de l'Océan Indien
CTHT	: Centre Technique Horticole de Tamatave
CRFPA	: Centre Régional de Formation Professionnelle Agricole
CPG	: Chromatographie en Phase Gazeuse
CVC/D	: Capitalisation-Valorisation-Communication/Diffusion (Projet PARRUR)
DALYs	: Disability Adjusted Life Year (CYSTICERCOSE)
DCP	: Document Cadre de Partenariat (France-Madagascar)
DIREL	: Direction Régionale de l'Elevage (Madagascar)
DRZV	: Département de Recherche Zootechnique et Vétérinaire (FOFIFA - Madagascar)
DSPR	: Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté (Madagascar)
DSV	: Direction des Services Vétérinaires (Madagascar)
EITB	: Enzyme-linked ImmunoElectroTransfer Blot (Test Western Blot) (CYSTICERCOSE)
ELISA	: Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay (test Immunologique) (RALSTONIA et CYSTICERCOSE)

EP : Ecloserie Paysanne (MADAPISCI)

ESSA : Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques de l'Université d'Antananarivo

FERT : Association française de coopération internationale pour le développement agricole

FOFIFA : Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural malgache (Madagascar)

FORMAPROD : Programme de formation professionnelle et d'amélioration de la productivité agricole (FIDA, Madagascar)

FSP : Fonds de Solidarité Prioritaire (MAEDI - France)

GCV : Grenier Commun Villageois (INFORIZ)

GES : Gaz à Effet de Serre (CARBONE)

HE : Huile Essentielle

IA : Influenza Aviaire (Newcastle)

IFCC : Institut Français du Café et du Cacao

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (France)

IHSM : Institut Halieutique et des Sciences Marines de l'Université de Tuléar

IMRA : Institut Malgache de Recherches Appliquées

IMVAVET : Institut Malgache des Vaccins Vétérinaires

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique (France)

INSTAT : Institut National de la Statistique (Madagascar)

IPM : Institut Pasteur de Madagascar

IRD : Institut de Recherche pour le Développement (France)

IRM : Imagerie par Résonance Magnétique

IUCN : Union internationale pour la conservation de la nature

LCR : Liquide céphalo-rachidien (CYSTICERCOSE)

MAEDI : Ministère des Affaires Etrangères et du Développement International (France)

MAP : Plan d'Action pour Madagascar

MBG : Missouri Botanical Garden (Etats-Unis)

MN : Maladie de Newcastle

MRD : Maximum Recovery Diluant (RALSTONIA)

NCC : Neurocysticercose

NDV : Newcastle Disease Virus

OdR : Observatoire du Riz (Madagascar)

OIE : Organisation Mondiale de la Santé Animale

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PARRUR : PARTenariat et Recherche dans le secteur RURal

PASAEP : Programme Sectoriel Agriculture Elevage et Pêche (Madagascar)

PCR : Polymerase Chain Reaction (Newcastle et CYSTICERCOSE)

PED : Pays en développement

PIC 2 : Pôles Intégrés de Croissance et Corridors (BM, Madagascar)

PMG : Poids de Mille Grains (GIPYRI)

PNIAEP : Plan National d'Investissement Agriculture, Elevage et Pêche (Madagascar)

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

POCT : Programme Opérationnel de Coopération Territoriale (FED-FEDER)

PPA : Producteurs Privés d'Alevins (MADAPISCI)

QUALIREG : Réseau scientifique et technique des acteurs de l'Agroalimentaire de l'Océan Indien

TEF : Herbier du FOFIFA

TAN : Herbier de Tsimbazaza (PBZT)

REDD+ : Réduction des Emissions de gaz à effet de serre issus de la Déforestation et de la Dégradation des forêts (CARBONE)

RFLP : Restriction Fragment Length polymorphism (CYSTICERCOSE)

SCAC : Service de Coopération et d'Action Culturelle (Ambassade de France)

SCRID : Systèmes de Culture et Rizicultures Durables

SCO : Stock de Carbone Organique (CARBONE)

SCV : Semis direct sous Couverture Végétale

SECAMAD : Société d'Exploitation de Cacao de Madagascar

SIM : Système d'Information sur le Marché

SNC : Système Nerveux Central (CYSTICERCOSE)

SM : Spectrométrie de Masse

SNRD : Stratégie Nationale de Relance du Développement (Madagascar)

SOMIA : Société Malgache d'Industrie et d'Agriculture (QUALIKKO)

SPAD : Systèmes de Productions d'Altitude et Durabilité (FOFIFA, Antsirabe)

SRPRH : Service Régional de la Pêche et des Ressources Halieutiques

UMR : Unité Mixte de Recherche

UNICEF : Fonds des Nations unies pour l'enfance

WASH : Water Sanitation Hygiene (CYSTICERCOSE)