

**RECHERCHES  
POUR  
LE DEVELOPPEMENT**

**Série Sciences Biologiques**

**N°28-2020**

**Antananarivo - Madagascar**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur  
et de la Recherche Scientifique**

**ISSN 1025 - 3467**



**RECHERCHES  
POUR  
LE DEVELOPPEMENT  
Série  
Sciences Biologiques  
N° 28  
2020**

*Membres du Comité de lecture* :

- Pr RAMIARISON Claudine
- Pr RAKOTOARIVELO Marie Laure
- Pr ANDRIAMPARANY Marius
- Dr RAHAINGO-RAZAFIMBELO Marcelline
- Dr RAHARIJAONA Nivoniaina Fahendrena

*Ce numéro a été édité avec le concours de*  
**Université d'Antananarivo  
Service de Coopération et d'Aide Culturelle  
(Ambassade de France)  
et  
Centre d'Information et de Documentation  
Scientifique et Technique**

Toute correspondance concernant les publications  
**RECHERCHES POUR LE DEVELOPPEMENT**  
doit être adressée au :

**Centre d'Information et de Documentation  
Scientifique et Technique  
BP 6224 – Email : cidst@cidst.mg  
Antananarivo - Madagascar  
ISSN 1025-3467**

**RECHERCHES  
POUR  
LE DEVELOPPEMENT**

**Série Sciences Biologiques**

**N°28**

**2020**

## NOS PRINCIPALES REALISATIONS

**Fonds Documentaire consultable  
gratuitement sur place**

24261 Ouvrages  
1584 Titres de périodique

**Production documentaire : Fiches techniques**  
66 thèmes sur l'agriculture et l'élevage

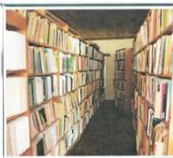
**Base de données en ligne : MADADOC**  
(sur l'Environnement et le Développement Rural)  
12642 Références

**Base de données bibliographiques : MIREMBY**  
41537 Références multidisciplinaires

**Edition de la Collection**  
"Revue Recherche pour le Développement"  
42 numéros dont :

Série Sciences Biologiques : 25  
Série Sciences de l'Homme et Société : 9  
Série Sciences Technologiques : 2  
Série Médecine : 6

**Promotion de l'innovation :**  
Organisation de l'évènement Science Hack Day :  
5 éditions  
Mise en place de CATI et FABLAB



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Centre d'Information et de Documentation  
Scientifique et Technique



**Votre partenaire  
pour le développement durable  
et l'innovation**

21, rue Fernand Kassanga  
Andoharano - Tsimbazaza - BP 6224  
Antananarivo 101  
Tél : (261)20 22 566 37  
E-mail : [cidst@cidst.mg](mailto:cidst@cidst.mg)  
Site Web : [http : www.cidst.mg](http://www.cidst.mg)  
FB : [facebook.com/cidst](https://www.facebook.com/cidst)

## SOMMAIRE

<b>Efficacité de quelques produits naturels sur <i>Varroa</i> acarien, parasites des abeilles</b> par Razafindrazaka A. Dimbiarimanga, Razafindraleva A. Herisolo, Razafindranaivo Victor, Rakotonirina J. Claude, Randriampenohaja A. Jens, Raveloson R. Lala Harivelo	7
<b>Indication Paléoenvironnementale des faunules du Site Ampiriaka, Commune Rurale Analavory, Région Itasy, Madagascar</b> par Andriambelomanana Miora Christelle, Rakotondrazafy T. Rasolofotiana E.	25
<b>Effet de la colle vinylique sur l'interface fibre de sisal/résine polyester</b> par Andriamboafidy Ny Ary Mendrika John, Ramaroson Mamiharijaona, Rajaonah Rabevala	39
<b>Birds and lemurs as potential seed dispersers of mistletoe in Madagascar's rain forests</b> par Fenosoa Zo Samuel Ella, Razafindratsima Onja H., Rakotomanana Hajanirina, Razafindraibe Hanta, Rasamisoa Delaïd C., Dunham Amy E.	49
<b>Sélection participative et décentralisée de lignées de riz pluvial sur les hautes terres de Madagascar. Cas de la région de Vakinakaratra</b> par Ramanitrinizaka Fanilo, Ramamonjisoa Lolona, Temple Ludovic, Goze Eric, Cao Tuong-Vi, Ramanantsoanirina Alain, Rabekijana Ravo, Vom Brocke Kirsten	65
<b>Effet des extraits de plantes de couverture : <i>Cosmos caudatus</i>, <i>Crotalaria grahamiana</i> (Fabaceae) et <i>Desmodium uncinatum</i> (Asteraceae) sur les vers blancs <i>Heteronychus bituberculatus</i> (Coleoptera ; Scarabeoidea) ravageurs du riz pluvial (<i>Oryzasativa</i>)</b> par Ranaivoson Miharimbola F., Ratsimiebo Masina Eunice, Randrianarivo Hanitra R, Randriamanantsoa Richard, Rafaraso Lala Sahondra	83

## MISSIONS DU CIDST

- ⇒ Valorisation et diffusion des résultats de recherches
- ⇒ Appui des acteurs du développement en information scientifique et technique pour une meilleure prise de décision

**Mise à disposition d'information**

- Service Questions-Réponse
- Diffusion sélective d'information
- Consultation sur place (documents primaires, bases de données, ...)

**Appui technique**

- Etude, mise en place, réorganisation, informatisation de systèmes documentaires
- Mise à disposition de salle et matériels ( Formation, Atelier, Visio-conférence...)

**Activités de Recherche**

- Sciences de l'information (information, documentation, archives, Bibliométrie, Communication, Gestion des connaissances, TIC)
- Formation à distance
- Développement du numérique

**N  
O  
S  
S  
e  
r  
v  
i  
c  
e  
s**

**Formation**

- Technique et gestion documentaire
- Informatique documentaire
- Modules liés au TIC
- Ressources Documentaires Numériques (RDN)

**Edition, Impression**

- Ouvrages, revues
- Brochures, dépliants...

**Centre d'Appui à la Technologie et à l'Innovation (CATI)**

- Accès à des bases de données en ligne (Brevets, Publications scientifiques)
- Formation et sensibilisation sur la Propriété Intellectuelle et Brevets

**N  
O  
S  
S  
e  
r  
v  
i  
c  
e  
s**

**Centre de Ressources pour le Développement (CRD)**

- Salle de lecture
- Espace multimédia

**FABLAB (Laboratoire de Fabrication Numérique)**

Simulation et développement de la créativité, émergence de l'innovation :

- Conception de prototype
- Formation : au design 3D, imprimante 3D, initiation à l'électronique (Arduino, Raspberry Pi, ...)
- Communauté (Game Dev, Machine learning, Robotics, Haikintana).

**Espace Co-Working**

Espace de travail collaboratif

# EFFICACITE DE QUELQUES PRODUITS NATURELS SUR VARROA ACARIEN PARASITE DES ABEILLES

par

RAZAFINDRAZAKA A. Dimbiarimanga<sup>(1)</sup>, RAZAFINDRALEVA A. Herisolo<sup>(1)</sup>,  
RAZAFINDRANAIVO Victor<sup>(1)</sup>, RAKOTONIRINA J. Claude<sup>(1)</sup>,  
RANDRIAMPENOHAJA A. Jens<sup>(2)</sup>, RAVELOSON R. Lala Harivelo<sup>(3)</sup>

(1) Ecole doctorale de la Vie et de l'Environnement, Faculté des Sciences - Université d'Antananarivo

(2) Institut Supérieur de Technologie – Ambositra

(3) Professeur, Faculté des Sciences - Université d'Antananarivo

## RESUME

Le parasite *Varroa destructor* provoque depuis plusieurs années la perte de nombreuses colonies d'abeilles à travers le monde. Il apparaît aujourd'hui comme un problème majeur pour l'apiculture malgache. Ce travail de recherche a pour but de déterminer les paramètres fondamentaux d'une lutte intégrée contre le varroa fondée sur l'utilisation de différents produits acaricides naturels et d'autres produits de synthèse. Pour ce faire, des études ethnobotaniques sur les plantes utilisées par les apiculteurs ont été menées et des essais sur terrain ont été réalisés pour évaluer l'efficacité acaricide des huiles essentielles de *Thymus vulgaris* et de *Rosmarinus officinalis* et du produit Tchik, comparée aux produits de références Apistan et amitraze. Les enquêtes ethnobotaniques effectuées avec les apiculteurs mentionnent 6 familles et 13 espèces de plantes utilisées contre le varroa. Concernant les traitements, les deux huiles essentielles ont des impacts sur varroa et leur efficacité a été vérifiée par le test de contrôle par l'amitraze. L'huile essentielle de thym est plus efficace par rapport à l'huile essentielle de romarin. Le produit Tchik permet également de contrôler le varroa mais à un degré moindre par rapport à l'Apistan.

**Mots clés :** *Varroa destructor*, *Apis melliferaunicolor*, contrôle biologique.

## ABSTRACT

The parasite *Varroa destructor* caused the loss of many bee colonies around the world for several years. It appears today as a major problem for Madagascar beekeeping. The aim of this research work is to determine the fundamental parameters of an integrated pest management against varroa based on the use of different natural acaricide and other synthetic products. Ethnobotanical studies on the plants used by beekeepers were carried out and field trials have been carried out to assess the miticide

effectiveness of two essential oils (*Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*) and the Tchik product, compared with reference products (Apistan, amitraze). Ethnobotanical surveys carried out with beekeepers mention 6 families and 13 species of plants used against varroa mites. Regarding treatments, the two essential oils have impacts on varroa and their effectiveness has been verified by the amitraz control test. Thyme essential oil is more effective compared to rosemary essential oil. Tchik also can be used to control varroa but to a lesser degree compared to Apistan.

**Key words:** *Varroa destructor*, *Apis mellifera unicolor*, biological control.

## INTRODUCTION

*Varroa destructor* (Arachnides : Varroidae), acarien ectoparasite est un ennemi majeur des abeilles appartenant au genre *Apis* dans le monde et à Madagascar. L'acarien effectue tout son cycle de développement dans la ruche. La femelle fécondée choisit pour sa ponte une cellule de couvain ouverte. Larves et nymphes poursuivent leur développement dans les cellules operculées. Les larves et adultes mâles se nourrissent de nutriments disponibles dans les cellules, alors que les femelles sont hématophages (Donze et *al.*, 1998).

Les impacts du Varroa sur les colonies d'abeilles sont dus essentiellement aux femelles. Par leur action spoliatrice, elles peuvent provoquer une mortalité élevée des larves, une perte de poids et un affaiblissement des abeilles, une réduction de la longévité des ouvrières femelles, la transmission de virus tels que le virus de la déformation des ailes DWV (Deformed Wing Virus) et du corps, le virus de la paralysie ABPV (Acute Bee Paralysis Virus). (Wendling, 2012)

A Madagascar, il existe une seule espèce d'abeilles endémiques, *Apis mellifera unicolor*. Elle a été longtemps indemne de maladies. *V. destructor* a été signalée pour la première fois à Madagascar en Décembre 2009 (OIE, 2010). Les zones d'infestation du parasite ont été suivies et concernaient presque la totalité du pays (Rasolofoarivao et *al.*, 2013a, Rasolofoarivao et *al.*, 2013b). Actuellement, varroa est présent principalement dans les régions Analamanga, Atsinanana, Analanjirofo, Alaotra Mangoro, Vakinankaratra et Amoron'i Mania (Ministère de l'Élevage). Les principaux impacts du varroa à Madagascar sont : la perte des colonies infestées surtout les deux années qui ont suivi l'introduction du parasite, une baisse de rendement des ruches estimée à 60%, mais pouvant atteindre 100% dans les cas d'infestation grave (Rasolofoarivao et *al.*, 2013a). A Madagascar, des produits phytosanitaires contre le varroa sont autorisés et disponibles: Apistan (Tau-fluvanulate), Apiguard (Thymol). Ces produits sont importés depuis 2012 et leurs modes d'utilisation sont les mêmes qu'en Europe. Dû à leurs coûts élevés et à

l'absence d'information sur les conséquences éventuelles de ces produits sur la qualité du miel, les apiculteurs ne les utilisent qu'en dernier recours. Et comme Madagascar dispose d'une richesse floristique importante dont bon nombre de plantes acaricides, des enquêtes sur les plantes utilisées par les apiculteurs contre varroa et des tests de produits biologiques en ruches expérimentales ont été menés. Trois types de produits à base d'huiles essentielles ont été testés : huile essentielle pure de romarin, huile essentielle pure de thym et un mélange d'huiles essentielles produit par la société Biozen et présenté sous forme de diffuseur, le Tchik.

## **MATÉRIELS ET MÉTHODES**

### **Enquêtes auprès des apiculteurs**

Les enquêtes ont été effectuées auprès des associations des apiculteurs. Elles concernent les différentes plantes utilisées par les apiculteurs pour contrôler le varroa et leurs modes d'utilisation. Les enquêtes de terrain sous forme de fiches d'enquête (annexe 1) ont été réalisées auprès des apiculteurs qui utilisent des plantes pour contrôler le varroa. Les données récoltées sont :

- Informations sur les Sites (Région, Commune, Fokontany)
- Informations sur l'apiculteur (Identification, nombre de ruches, Année d'entrée dans le secteur)
- Informations sur les plantes utilisées (espèce, parties utilisées, mode de préparation, mode d'utilisation)
- Information sur les résultats obtenus (efficacité ou non, désertion ou non).

### **Essais de différents produits acaricides**

Trois produits ont été testés :

- Huile essentielle pure de romarin produite par Homéopharma
- Huile essentielle de Thym produite par Distillerie Bleu Provence (France)
- Le diffuseur Tchikapigener® produit par la société BIOZEN.

La méthode de sucre glace (Dietmann et *al.*, 2013) a été choisie pour déterminer le taux d'infestation de chaque ruche avant les traitements. Elle consiste à prendre un échantillon d'environ 300 ouvrières sur les cadres présentant du couvain operculé au centre de la ruche et de les placer dans un bocal rempli de sucre glace. Rouler le bocal pour couvrir uniformément les abeilles de sucre glace. Secouer le flacon au-dessus d'un plateau blanc pour faire tomber les varroas et le sucre glace. Les varroas seront

séparés de leurs abeilles hôtes. Le nombre de varroa tombés est compté. Et après le comptage, le taux d'infestation de la ruche est déterminé par la formule suivante :

$$\frac{\text{Nombre de varroa tombé} \times 100}{300}$$

### **Tests sur les huiles essentielles :**

Le test d'efficacité des huiles essentielles de Thym et Romarin a été réalisé dans la région de Vatovavy Fitovinany avec les apiculteurs de Mananjary dans des ruches Langstroth. L'essai a duré quatre jours et le nombre des ruches traitées est de 24 (12 ruches pour chaque produit).

Pour ces huiles essentielles, 80µl de produit est déposé sur du papier filtre à l'aide d'une micro seringue et introduit immédiatement dans la ruche testée. Un papier beurré est déposé au fond de la ruche afin de recueillir les varroas tombés. La durée du test est de 24 heures. Après ce temps, le nombre de varroas tombés est noté. Le test est répété 4 fois pour chaque ruche. Le comptage des varroas tombés et le renouvellement du produit ont été effectués toutes les 24h.

### **Contrôle d'efficacité des produits avec un produit de référence.**

Il est important de savoir si après le traitement, le taux d'infestation de la ruche reste élevé ou diminue fortement. Le contrôle avec un produit de référence permet d'estimer le nombre de varroas encore présents dans chaque ruche après le traitement avec les huiles essentielles. Le Tactic (Amitraz) a été utilisé dans ce cas car il a un effet rapide.

### **Test sur le Tchik**

Les études sur le diffuseur Tchik ont été menées à Ambatosarotra (Commune rurale Fenoambany, district de Vangaindrano). 20 ruches expérimentales sont utilisées dont 10 traitées (TT) et 10 servant de témoins (TM).

Le Tchik est constitué de mélange d'huiles essentielles et d'extraits de plantes dont les composants actifs sont donnés dans le Tableau1. Il s'agit d'un diffuseur qui émet une odeur agréable. Le sachet contenant le produit est découpé sur un bout puis placé au milieu de la ruche près des cadres de couvain. Il n'est pas nécessaire de renouveler. La durée d'application du produit est de 70 jours. Mais pour les tests en ruches expérimentales, le comptage des varroas tombés a été réalisé après 96h.

**Tableau 1** : Liste et proportion des composants actifs du Tchik

COMPOSANTS ACTIFS		QUANTITE $\mu$ l
HUILES ESSENTIELLES	Ravintsara	8
	Géranium	8
	Citronnelle	12
	Thym	16
EXTRAITS DE PLANTES	Cannelle	20
	Girofle	20
	Melia azédarach	20
	Coriandre	40
	Ananas	40

Pour contrôler l'efficacité du Tchik, l'Apistan (produit chimique à base de tau-fluvalinate) a été utilisé comme produit de référence car il a un effet longue durée comme le Tchik. Les comptages de varroa tombés ont été effectués tous les 7 jours et le suivi a été effectué pendant 5 semaines.

### **Analyse des données**

Les données récoltées sont traitées sur Excel puis soumises à des analyses statistiques XLSTAT version 6.0 pour l'analyse de la variance (ANOVA). L'analyse de variance a pour but de comparer les moyennes de plusieurs populations. Mais, c'est également une méthode d'estimation des paramètres de la population totale que sont moyenne et variance. Le tableau d'analyse de la variance donne une probabilité Pr associée au test de Fisher à un intervalle de confiance de 95% ; si F critique est inférieure à F calculée, le modèle élaboré est alors significatif.

## **RESULTATS**

### **Les plantes utilisées par les apiculteurs contre Varroa**

Treize (13) espèces de plantes appartenant à 6 familles botaniques ont été répertoriées, la plupart appartiennent à la Famille des Lamiacées (Tableau 3). La majorité de ces plantes semblent avoir une action sur varroa selon les apiculteurs.

**Tableau 2** : Liste des plantes acaricides utilisées par les apiculteurs

Famille	Genre et Espèces	Partie utilisée	Mode de préparation	Zones prospectées	Efficacité	Pas d'action	Désertion
ASTERACEAE	<i>Helichrysumcordi folium</i>	Feuille, tige	Décoction	Manjakandrina, Anjepy	-	+	-
ASTERACEAE	<i>Pterocaulondecurrens</i>	Feuille	décoction	Anjepy, Manjakandrina	+	-	-
ASTERACEAE	<i>Psiadiaaltissima</i>	Plante entière	décoction	Manjakandrina, Mandraka, Maharidaza	-	+	-
MELIACEAE	<i>Melia azedarach</i>	Feuille	Décoction	Anjepy, Manjakandrina, Alakamisy	+	-	+
LAMIACEAE	<i>Tetradeniafructicosa</i>	Plante entière	Décoction	Anjepy	-	+	-
LAMIACEAE	<i>Menthasp</i>	Feuille	Décoction	Manjakandrina, Anjepy	-	-	-
LAMIACEAE	<i>Thymus sp</i>	Plante entière	Usage direct, décoction	Manjakandrina, Anjepy, Ambatolaona, Mananjary	+	-	-
LAMIACEAE	<i>Rosmarinusofficinalis</i>	Plante entière	Usage direct, décoction	Manjakandrina, Anjepy, Ambatolaona, Mananjary	+	-	-
EUPHORBIACEAE	<i>Ricinuscommunis</i>	Plante entière	Usage direct	Manjakandrina	-	+	-
EUPHORBIACEAE	<i>Macarangaalnifolia</i>	Feuille	Usage direct	Mandraka, Manjakandrina	+	-	-
SOLANACEAE	<i>Solanumauriculatum</i>	feuille	Usage direct	Anjepy, fandriana, Ambositra, Fianarantsoa	+	-	-
SOLANACEAE	<i>Nicotinatabacom</i>	Feuille	Usage directe	Mananjary, Manakara, Vangaindrano, Fandriana, Ambositra, Vangaindrano	+	-	-
LILIACEAE	<i>Allium sativum</i>	Gousse	Usage direct	Mandraka, Anjozoro, Fenerive-Est	+	-	-

Dans le tableau, + indique un résultat positif et – un résultat négatif

## Efficacité des produits naturels contre varroa

### *Efficacité des huiles essentielles de Romarin et de Thym*

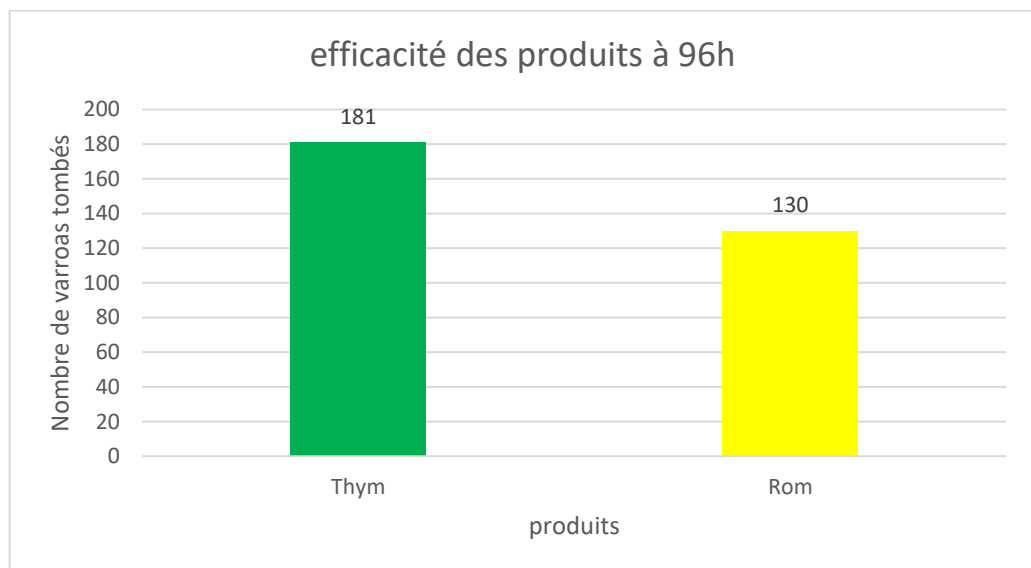
Le taux d'infestation des ruches avant les traitements, déterminé avec la méthode de sucre glace, est présenté en Tableau 3. Les résultats montrent une variation du taux d'infestation de 0,33% à 6,55%. Le premier lot (Ruche n°1 à 12) a une infestation moyenne de 1,37%. Le taux moyen d'infestation pour le deuxième lot (Ruche n°13 à 24) est de 1,38%.

**Tableau 3** : Taux d'infestation initiale des ruches avant traitement avec le thym et le romarin

N° ruche	Taux d'infestation initiale (%) (Thym)	N° ruche	Taux d'infestation initiale (%) (Romarin)
1	0,66	13	1,66
2	0,66	14	1,00
3	0,66	15	1,00
4	1,00	16	1,33
5	0,66	17	0,66
6	1,33	18	3,33
7	6,55	19	0,66
8	0,33	20	2,00
9	0,66	21	1,33
10	1,33	22	0,33
11	1,66	23	2,00
12	1,00	24	1,33
Moyenne	1,375		1,38

Après détermination du taux d'infestation initiale des ruches, le premier lot (Ruche n°1 à 12) sera traité avec l'huile essentielle de thym et le deuxième lot (Ruche n°13 à 24) avec l'huile essentielle de romarin.

Les résultats du traitement après 96h avec les huiles essentielles de thym et romarin sont donnés en Figure 1. Il apparaît que l'huile essentielle de thym montre plus d'efficacité avec un nombre total de 181 varroas tombés à la fin du traitement contre 130 varroas tombés pour le romarin.



**Figure 1** : Efficacité moyenne des huiles essentielles de thym et de romarin après 96h.

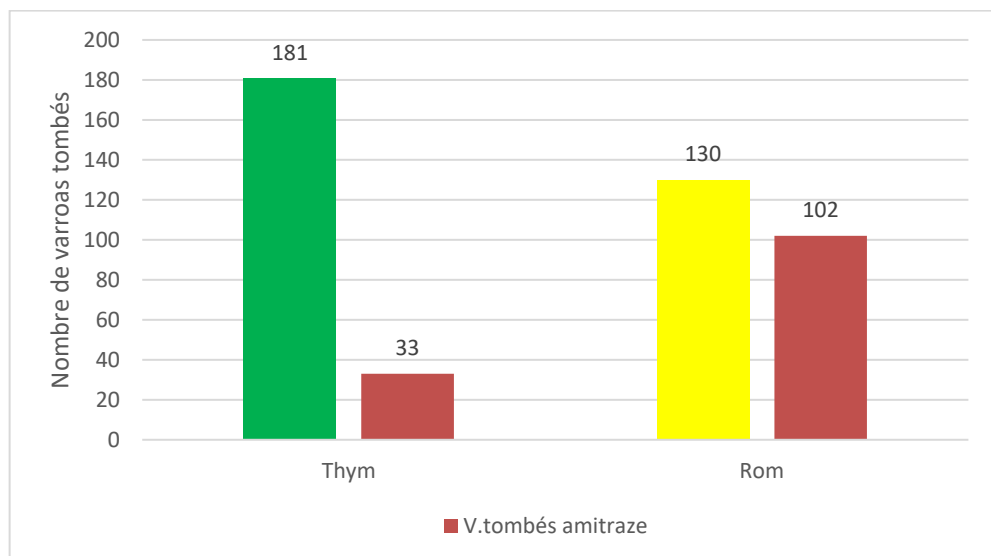
Pour démontrer qu'il y a efficacité des produits (Thym, Romarin), une analyse de variance a été effectuée sur les résultats obtenus.

**Tableau 4** : Table d'analyse de variance pour le thym et le romarin

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	108,375	1	108,375	4,74398939	0,040400942	4,300949502
A l'intérieur des groupes	502,5833333	22	22,84469697			
Total	610,9583333	23				

D'après cette analyse, la valeur critique pour  $F < F$  calculée, donc il y a efficacité des produits testés contre le varroa.

Les résultats du contrôle d'efficacité des huiles essentielles par l'amitraz sont présentés en figure 2. Pour les ruches traitées avec l'huile essentielle de Romarin, le nombre de varroa restant est de 102. Tandis que pour l'huile essentielle de Thym, il ne reste que 33.



**Figure 2** : Efficacité des produits après contrôle à l'amitraze

Le test avec l'amitraz nous permet de constater encore l'efficacité de l'huile essentielle de Thym par rapport à l'huile essentielle de Romarin.

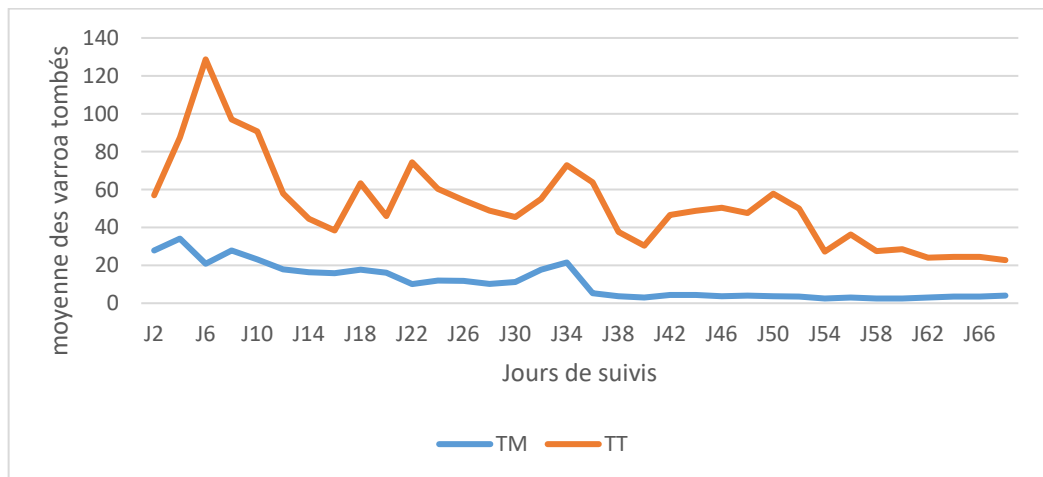
#### *Efficacité du Tchik*

Le taux d'infestation initiale des ruches est présenté dans le tableau 5. L'infestation moyenne des ruches du premier lot (1 à 10) est de 17,05% et celui des ruches du deuxième lot (11 à 20) est de 17,06%. Les ruches du premier lot (1 à 10) seront traitées avec le Tchik et les ruches du deuxième lot sont des ruches témoins, non traitées.

**Tableau 5** : Taux d'infestation initiale des ruches avant le test sur le Tchik

N° ruche	Taux d'infestation initiale % (Tchik)	N° ruche	Taux d'infestation initiale % ( <sup>TM</sup> )
1	52,67	11	20
2	4,00	12	27
3	7,77	13	21
4	15,53	14	20
5	3,00	15	24
6	15,34	16	16
7	22,77	17	15,27
8	1,33	18	1,00
9	32,77	19	6,33
10	15,33	20	20
Moyenne	17,05		17,06

La figure 3 présente les résultats obtenus avec ou sans traitement avec le Tchik en fonction du temps. Le suivi a été effectué tous les 4 jours pendant 66 jours. La courbe en bleu montre la chute naturelle de varroas dans les ruches non traitées. Les ruches traitées avec le Tchik (courbe en rouge) montrent un nombre plus élevé de varroas tombés. Cette chute est particulièrement importante environ une semaine (6j) après traitement puis diminue progressivement avec le temps. Toutefois, le nombre de varroas tombés reste plus élevé par rapport à la chute naturelle.



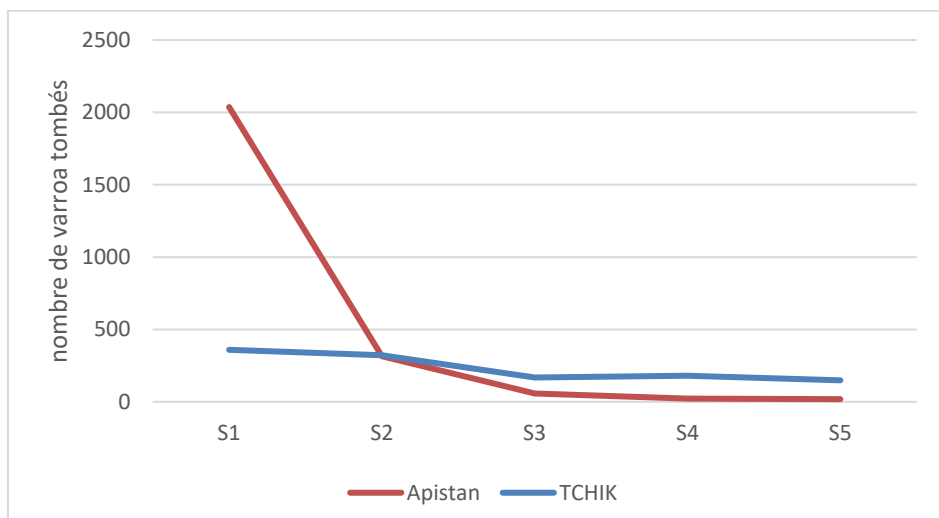
**Figure3** : Nombre des varroas tombés avec ou sans traitement par le Tchik en fonction du temps

Pour évaluer l'efficacité du diffuseur Tchik, une étude comparative avec l'Apistan a été effectuée. Des colonies fortes ont été choisies pour montrer l'effet à long terme du Tchik et du produit de référence. Mais avant les traitements, le taux d'infestation initiale des ruches a été déterminé (Tableau 6). Ici, l'infestation moyenne des ruches du premier lot qui seront traitées avec le Tchik est de 17,05 (lot n°1) et l'infestation moyenne des ruches du deuxième lot qui seront traitées à l'Apistan est de 17,07 (lot n°2).

**Tableau 6** : Taux d'infestation initiale des ruches avant traitement au Tchik et à l'Apistan

N° ruche	Taux d'infestation initiale % (Tchik)	N° ruche	Taux d'infestation initiale % (Apistan)
1	52,67	11	23
2	4,00	12	15
3	7,77	13	17
4	15,53	14	18
5	3,00	15	7
6	15,34	16	20
7	22,77	17	22
8	1,33	18	9
9	32,77	19	17
10	15,33	20	22
Moyenne	17,05		17

Après traitement avec le Tchik et l'Apistan, en comparant le nombre de varroas tombés, le résultat suivant a été obtenu (Figure 4)



**Figure 4** : Comparaison de l'efficacité des traitements au Tchik et à l'Apistan

Les courbes ci-dessus présentent l'efficacité moyenne du Tchik et de l'Apistan tous les 7 jours. La courbe rouge montre la chute de varroa en présence de l'Apistan et celle en bleue désigne la chute de varroa en se servant du Tchik. Trois résultats sont observés suivant les intervalles [S1-S2 [, [S2-S3 [et [S3-S5 [. Pour [S1-S2 [, une forte pente est obtenue indiquant une chute forte de varroa pour le cas de l'Apistan et une pente faible indiquant une faible chute de varroa pour le Tchik. Pour [S2-S3 [, la pente reste importante pour l'Apistan et faible pour le Tchik. De [S3-S5 [, la pente est presque nulle pour l'Apistan et faible pour le Tchik. Ainsi, la chute de varroa est importante avec l'Apistan jusqu'à la troisième semaine et devient nulle après. Il y a toujours chute de varroas durant tout le suivi pour le cas du Tchik, et elle est progressive.

Une analyse de variance a été effectuée pour montrer si le test est significatif (tableau 7). D'après les résultats, la valeur critique pour F est inférieure à F calculée, donc le test est significatif. Les deux produits sont efficaces mais le Tchik a une action lente par rapport à l'Apistan.

**Tableau 7** : Table d'analyse de variance pour Tchik et Apistan

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Traitement	2981579,467	2	1490789,733	27,57761958	1,0531E-09	3,118642128
Jours	7352927,667	4	1838231,917	34,00483606	3,5779E-16	2,493696004
Interaction	11183158,2	8	1397894,775	25,85918688	1,1439E-18	2,064439343
A l'intérieur du groupe	4054346,667	75	54057,95556			
Total	25572012	89				

## DISCUSSION

Le varroa constitue un problème majeur et inquiétant des ruchers par sa capacité prolifératrice provoquant ainsi la destruction des colonies d'abeilles. Il a été récemment identifié comme un facteur majeur responsable des pertes de colonie dans le monde entier (Brodschneider et al., 2010 ; Dahle B., 2010)

Face à cet ennemi de l'abeille, les plantes représentent un grand réservoir de substances naturelles dont l'usage traditionnel et médical est connu depuis longtemps. A Madagascar, l'utilisation des plantes est étroitement liée à la vie socio-économique et culturelle. Selon Randriamahefa M. et Rakotozafy A. (1979), environ 3500 espèces de plantes ont des vertus curatives et utilisées en médecine traditionnelle dans différentes régions de Madagascar.

D'après les enquêtes effectuées, 13 espèces de plantes sont utilisées par les apiculteurs contre varroa. La majorité de ces plantes sont des plantes utilisées comme acaricides. Ils considèrent les varroas comme des ``poux`` des abeilles, donc ils tentent de soigner les abeilles avec ces plantes et ils trouvent quelques résultats positifs. D'autres plantes comme les citronnelles, la lavande et le géranium sont aussi testées contre varroa (Communication personnelle).

Concernant les méthodes et résultats obtenus par les apiculteurs, en général, ils restent toujours méfiants vis-à-vis des enquêteurs. Ainsi, l'utilisation des espèces citées pour lutter contre les varroas comporte plusieurs secrets, les apiculteurs sont réticents quant aux méthodes qu'ils utilisent. De ce fait, nos résultats sur ces plantes restent encore limités, des études ultérieures devraient être menées.

D'après nos résultats, uniquement *Melia azedarach* a provoqué l'essaimage chez les colonies traitées. Les formulations fortement odorantes perturbent les colonies, accusent des effets secondaires comme le remplacement de reines, le déplacement du couvain et des réserves vers le bas de la ruche voire parfois l'abandon de la ruche (Calderone, 2001).

L'orientation vers des moyens naturels tels que les huiles essentielles des plantes aromatiques offre une solution valide dans la lutte contre varroa puisque leur présence est acceptable dans l'environnement de la ruche. Dans cette optique, la présente étude s'est intéressée à comparer l'efficacité des huiles essentielles de plantes aromatiques (Thym, romarin et diffuseur Tchik) avec des produits chimiques Amitrazetactic, Apistan.

A première vue, les produits naturels utilisés (l'huile essentielle de thym et de romarin, et le Tchik) ont une action sur le varroa. Des varroas morts et des varroas vivants ont été constatés sur les plateaux grillagés. Les doses utilisés (80 µl pour le thym et le romarin) et le mélange d'huiles essentielles dans le Tchik sont efficaces malgré les conditions incomplètes du test (présence des trous qui laissent le produit s'échapper).

Les résultats des traitements avec les huiles essentielles de thym et Romarin ont révélé que l'huile essentielle de thym (181 varroas tombés) est plus efficace que l'huile essentielle de romarin (130 varroas tombés). Le test de contrôle à l'amitraz confirme encore l'efficacité de l'huile essentielle de thym (33 varroas tombés) par rapport à l'huile essentielle de romarin (102 varroas tombés).

L'utilisation potentielle d'huiles essentielles pour lutter contre varroa a été rapportée par plusieurs auteurs (Rittter et Hoppe, 1988). D'après Bogdanov, 2002 ; le thymol (huile volatile qu'on retrouve dans l'huile de thym) s'est avéré l'un des composés d'huiles essentielles les plus efficaces contre le varroa.

Les tests sur les huiles essentielles de thym et de romarin ont été répétés pendant 4 jours de suite. Chaque jour, des varroas tombés ont été enregistrés. Selon Cosentino S *et al.*, les huiles essentielles n'ont pas d'efficacité contre les varroas qui se trouvent dans les alvéoles ; par conséquent, la durée du traitement doit être suffisamment longue pour que les larves dans les alvéoles operculées au début du traitement aient le temps d'émerger (Shahrouzi R, 2008). Ainsi, les traitements auraient dû être poursuivis au-delà de 4 jours pour avoir plus d'efficacité.

Le diffuseur Tchik est un mélange d'huiles essentielles. Les huiles essentielles se volatilisent rapidement. Pour avoir une action de longue durée, le Tchik a été fabriqué sous forme de diffuseur. Selon le fabricant, la durée d'application est de 70 jours. Le Tchik montre des effets prolongés avec un pic d'efficacité maximum environ 6 jours après le dépôt du produit. Le nombre de varroa tombés est toujours supérieur au nombre de varroa tombés des ruches témoins (nombre de varroa tombés naturellement). Comparé avec l'Apistan, une différence significative a été observée entre les deux produits la première semaine, l'Apistan donne le meilleur résultat avec 2036 varroas tombés et 359 varroas pour le Tchik. Mais à partir de la deuxième semaine, les différences deviennent non significatives. Ce qui montre que le Tchik agit de façon progressive. A long terme, il est aussi efficace que l'Apistan et permet de maintenir la densité de varroa à un niveau tolérable pour la colonie.

Plusieurs méthodes de lutte sont appliquées dans la lutte contre le varroa : chimiques, zootechniques, biologiques et finalement les méthodes de lutte intégrée (Sammataro *et al.*, 2000). Les méthodes chimiques se sont avérées être jusqu'à présent les plus puissantes, mais, elles présentent des inconvénients à cause des résidus qu'elles laissent dans les produits apicoles et aussi du fait que les acariens deviennent résistants à ces produits (Faucon *et al.*, 1996)

Il est maintenant largement reconnu que la lutte intégrée contre les ravageurs est la meilleure approche pour lutter contre le varroa se en apiculture. Cette approche mise sur l'intégration d'un ensemble de méthodes proactives, non chimiques et chimiques offrant aux apiculteurs la meilleure stratégie pour contrôler le parasite et limiter les dommages aux colonies (Delaplane *et al.*, 2005. The Honey Bee Health Coalition, 2016). Entre autres, ces tactiques visent à contrôler les densités de varroas avant qu'elles ne menacent la productivité et la survie des colonies, plutôt que d'agir après que les dégâts aient eu lieu. Pour le cas de Madagascar, les huiles essentielles peuvent réduire les populations de varroa mais il faudra déterminer le nombre de traitements

nécessaires pour assurer la survie de la colonie. Pour le Tchik, son action prolongée devrait permettre de maintenir les densités de varroa en dessous de cette limite de tolérance.

En outre, certaines abeilles comme *Apis cerana*, ou les sous-espèces *Apis mellifera capensis* et *Apis mellifera scutellata* du continent Africain montrent une tolérance à *Varroa destructor*, laissant espérer que la sélection d'abeilles mellifères varroa-tolérantes soit possible à l'échelle globale (Allsopp, 2007). Les techniques d'élevage et de sélection sont des pratiques communes en apiculture. Des études réalisées antérieurement dans différentes régions de Madagascar, ont montré l'existence de souches d'abeilles ayant un bon comportement hygiénique (Rasolofoarivao et al., 2015). Des études approfondies sur ces abeilles hygiéniques devraient être réalisées afin de les sélectionner et de les diffuser auprès des apiculteurs.

## CONCLUSION

78 apiculteurs utilisant des plantes contre varroa ont été interviewés et ont permis d'identifier 6 familles et 13 espèces de plantes acaricides. Les modes d'utilisation de ces plantes sont variés allant des feuilles séchées à des extraits aqueux. Ces plantes semblent avoir une action contre varroa mais nécessite des traitements répétés pour avoir un effet de longue durée. Néanmoins, les résultats obtenus ne sont pas exhaustifs et beaucoup d'études restent à faire afin de compléter les données.

Concernant les huiles essentielles de Thym et de romarin, les résultats montrent que les deux produits ont des effets sur varroa, l'huile essentielle de thym étant plus efficace que l'huile essentielle de romarin. Par contre, ces deux huiles essentielles n'ont pas d'effet sur les larves et nymphes de varroa qui se trouvent enfermées dans les alvéoles ; par conséquent, la durée du traitement doit être suffisamment longue.

Le diffuseur Tchik apigener possède aussi des effets positifs sur varroa mais son action est lente et progressive. En comparaison, l'Apistan, un produit chimique largement utilisé dans la lutte contre varroa présente un effet immédiat par rapport au Tchik mais à long terme, leurs effets sont comparables.

D'après nos résultats, les efficacités obtenues avec les huiles essentielles et le tchik sont inférieures à celles des produits chimiques, mais l'introduction d'un composé chimique dans une colonie peut potentiellement diminuer la durée de vie des abeilles, atteindre leur système immunitaire et compromettre la croissance de la colonie déjà affectée par le parasite. L'apparition de résistance vis-à-vis des traitements est également une limite rencontrée lors de l'usage répété de ces molécules.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Allsopp, M. H. (2007). Analysis of *Varroa destructor* infestation of southern African honeybee populations. Msc (Zoology), University of Pretoria.
- 2) Brodschneider R.; Moosbeckofer R.; Crailsheim K.(2010). Surveys as a tool to record winter losses of honey bee colonies: a twoyears case study in Austria and South Tyrol. *Journal of Apicultural Research* 49(1): 23-30.
- 3) Calderone N.W et Kuenen (2001). Effect of Western-honey bee (hymenoptera: Apidae) colony, cell type and larval sex on host acquisition by female *Varroa destructor*. *Journal of Economic Entomology* 94 (5): 1022-1030
- 4) Cosentino S. (1999). *In vitro* antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian *Thymus* essential oils. *Lett. Appl. Microbiol.*, 29(2), 130-135.
- 5) Dahle, B.(2010). The role of *Varroa destructor* for honey bee colony losses in Norway. *Journal of Apicultural Research* 49(1): 124- 125.
- 6) Delaplane K. S., Berry J. A., Skinner, J. A., et al. (2005). Integrated pest management against *Varroa destructor* reduces colony mite levels and delays treatment threshold. *J ApicRes*, 44(4), 157-162
- 7) Dietmann V., Nazi F., Martin S.J., Anderson D.L., Locke B., Delaplane K.S. et al. (2013). Standard methods for varroa research. In Dietman V., Ellis J.D.& P. Neumann. The colossbeebook Volume II: standard methods for Apismellifera pest and pathogen research (P53). *Journal of Apicultural research*.
- 8) Donze G., Fluri P. et Imdorf A.(1998). Une si grande organisation : la reproduction de varroa dans le couvain operculé de l'abeille. *Revue Suisse de l'apiculture* (12) : 11-18.
- 9) Faucon J.P. (1992). Précis de pathologie, connaitre et traiter les maladies des abeilles, Edit FNSOAD 512p .
- 10) OIE (2010). La varroase des abeilles mellifères. Cas de Madagascar. Notification OIE, Février 2010).
- 11) Randriamahefa M. & Rakotozafy, A. (1979). Recherches bibliographiques sur les utilisations empiriques des plantes médicinales malgaches. 403p.
- 12) Rasolofoarivao H., Clemencet J., Raveloson Ravaomanarivo L. H., Razafindrazaka D., Reynaud B. et Delatte H.(2013). Typage génétique et distribution de l'ectoparasite *Varroa destructor* (AcariVarroidae) à Madagascar depuis sa première description en 2010. *LSA* 255, 290 – 303
- 13) Rasolofoarivao H., Clemencet J., Raveloson Ravaomanarivo L. H., Razafindrazaka D., Reynaud B. et Delatte H. (2013). Spread and strain

determination of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) in Madagascar since its first report in 2010. Experimental and applied acarology, January 2013.

- 14) Rasolofoarivao H., H. Delatte, L.H. Raveloson Ravaomanarivo, B. Reynaud and J. Clémencet, 2015. Assessing hygienic behavior of *Apis mellifera unicolor* (Hymenoptera: Apidae), the endemic honey bee from Madagascar. Genet. Mol. Res. 14 (2): 5879-5889 (2015).
- 15) Ritter W. (1988). *Varroajacobsoni* in Europe, the tropics and subtropics. In: Needham G.R., Page R.E., Delfinado- Baker M., Bowman C. E. Eds. Africanized honey bees and bee mites. Ellis Horwood, Ltd. Chichester, UK. pp 349-359.
- 16) Sammataro D., Gerson U., & Needham G. (2000). Parasitic mites of honey bees: Life history, implications, and impact. Annu Rev Entomol, 45, 519-548.
- 17) Shahrouzi R. (2008). Natural and chemical control of *Varroa destructor* and *Tropilaelapsmercedesae* in Afghanistan ([www.beekeeping.com/articles/us/naturalchemicalcontrolofvarroa.pdf](http://www.beekeeping.com/articles/us/naturalchemicalcontrolofvarroa.pdf)).
- 18) The Honey Bee Health Coalition (2016). Tools for Varroa Management : A Guide to Effective Varroa Sampling & Control. In [http://honeybeehealthcoalition.org/wp-content/uploads/2016/03/HBHCGuide\\_Varroa\\_Interactive\\_18FEB2016.pdf](http://honeybeehealthcoalition.org/wp-content/uploads/2016/03/HBHCGuide_Varroa_Interactive_18FEB2016.pdf)
- 19) Wendling S. (2012). *Varroa destructor* (Anderson et Trueman, 2000), un acarien ectoparasite de l'abeille domestique *Apis mellifera* Linnaeus, 1758. Revue bibliographique et contribution à l'étude de sa reproduction. Thèse de doctorat vétérinaire, Faculté de Médecine, Créteil, 190 p.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous les apiculteurs qui ont accepté de collaborer avec nous. Nous adressons notre sincère reconnaissance à feu Monsieur KARMALI Fondateur du laboratoire BIOZEN qui nous a donné les produits nécessaires aux tests et a financé les déplacements sur le terrain. Nous remercions également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



# INDICATION PALEOENVIRONNEMENTALE DES FAUNULES DU SITE AMPIRIAKA, COMMUNE RURALE ANALAVORY, REGION ITASY, MADAGASCAR

par

ANDRIAMBELOMANANA Miora Christelle<sup>(1)</sup>, RAKOTONDRAZAFY T.<sup>(1,2)</sup>,  
RASOLOFOTIANA E.<sup>(1)</sup>

(1) Ecole Doctorale Gestion des Ressources Naturelles et Développement. EA Agro-Management, Développement Durable et Territoires, ESSA, Université d'Antananarivo, Madagascar

(2) Centre d'Information et de Documentation Scientifique et Technique, CIDST, Antananarivo, Madagascar

(3) Ecole Supérieure de Management et d'Informatique Appliquée, ESMIA, Antananarivo, Madagascar

## RESUME

Les dépôts sédimentaires de Madagascar sont répartis surtout dans la partie Ouest de l'île, mais il y a aussi des dépôts lacustres dans la région centrale. Cette étude des faunules, effectuée sur le site subfossilifère d'Ampiriaka de la Région Itasy a pour but de connaître l'environnement ancien du lieu. Les travaux de terrains ont permis de collecter les échantillons, qui ont commencé par l'excavation, le prélèvement des échantillons de sédiments a été réalisé de bas en haut après avoir nettoyé la surface d'affleurement. Dans le cadre des travaux de laboratoire, les sédiments ont été tamisés à l'eau afin de nettoyer les faunules. Les refus ont ensuite été triés, comptés et identifiés en utilisant une loupe binoculaire. Les archives de recherches antérieures ont été utilisées pour la comparaison et la détermination des spécimens. La lithologie de ce site est composée de tourbes, d'argile, de tourbe argileuse, de calcaire argileux et de terre du sol végétalisé. Les faunules observées sont des Bivalves, des Gastéropodes et des Ostracodes, qui sont plus nombreux par rapport aux autres groupes. La présence de ces faunules témoigne que le site étudié était antérieurement une zone humide représenté par un lac ou un marais.

**Mots clés :** dépôts sédimentaires, faunules, humides, bivalves, gastéropodes, ostracodes, sédiments

## ABSTRACT

The Madagascar's sedimentary deposits are mainly distributed in the Western part of the Island, but there are also lacustrine deposits in the central region. The fauna investigation was carried out in the subfossiliferous site of Ampiriaka (Itasy region). The aims of this study are to know the palaeoenvironment. Fieldwork was done to collect the samples. Sediment collection begins with the excavation, sampling is done from the bottom to the top after cleaning the surface for avoiding any risk of

contamination. These samples will be driven to the laboratory for analysis. In the laboratory, the sediments are sieved with water to clean the fauna. Then, the residual after sieving is selected, counted and identified under a binocular magnifying glass. Many literatures of different research are used for specimen's comparison and determination. The geological outcrop log is composed of peat, clay, clayey peat, clayey limestone and soil. Bivalves, Gastropods and Ostracods are observed but the Ostracods are the most than the other groups. The presence of these fauna testifies that the site was a wetland like a lake or a marsh.

**Keywords** : Sedimentary deposits, faunula, humide, bivalves, gastropods, ostracods, sediments

## **Fintina**

Ireo petra – tsosom – batofaika'n'i Madagasikara dia miparitaka, indrindra any amin'ny faritra andrefan'ny Nosy, fa misy ihany koa ireo faika am-parihy any amin'ny afovoantany. Nanaovana fanadihadiana momba ny biby bilitika tao Ampiriaka (Faritra Itasy). Ny tanjon'ity fikarohana ity dia mba hahafantarana ny tontolo fahaelan'ny toerana. Natao ny fidinana ifotony tany an-toerana mba hanangonana ireo santiona ilaina. Ny fakana ireo santionan-tany dia natomboka tamin'ny fandavahana, ny fanangonana ny santionan-tany izay manomboka ambany vao miakatra rehefa voadio ny rindrin-tany hiasana. Ireo santionan-tany nanganina dia nentina natao fandalinana any amin'ny laboratoara. Nosivanina izy ireo mba hanadiovana ireo sisan-karingana bilitika. Izay sisa tavela tamin' ny sivana dia navahana, noisaina ary nofantarina tamin'ny mikiraosikaopy na lopy mpanita-jery. Taorian'ny fandinihana no nahafahana namaritra ny karazany, notontosaina tamin'ny alàlan'ny fampiasana ireo tahiri-kevitra ara-voka-pikarohana taloha. Ny rindrin-soson-tany tao Ampiriaka dia nahitana fompotra, tanimanga, fompotra miharo tanimanga, vatosokay miharo tanimanga ary tany masaka. Ny biby bilitika hita dia ny “Bivalves”, ny “Gastéropodes” ary ny Voangoroafono izay betsaka kokoa raha mitaha amin'ny vondrona biby hafa. Ny fisian'ireo biby bilitika ireo dia manamarika fa taloha dia toerana mando toy ny farihy na honahona ity toerana nanaovana fikarohana ity.

**Teny iditra** : Petra–tsosom–batofaika, biby bilitika, mando, bivalves, gastéropodes, voangoroafono, atsanga

## **INTRODUCTION**

Les régions centrales de Madagascar ont plusieurs types de végétation comme la formation végétale à bois de tapia (*Uapaca bojeri*) qui est un résultat de la dégradation des forêts denses sclérophylles. Le sous-bois arbustif a été remplacé par un tapis graminéen et la majorité des essences arborescentes est éliminée (Guillaumet et Koechlin, 1971). Dans la région d'Itasy, les derniers vestiges de la formation forestière

originelle sont représentés par les forêts de tapia (Rakotondrasoa O. *et al.*, 2012). La répartition des dépôts subfossilifères de Madagascar se localise dans le Centre, au Sud et au Sud-Ouest de l'île mais le plus connu est le site d'Ampasambazimba qui se situe dans les Hautes Terres Centrales (Tattersall, I., 1973).

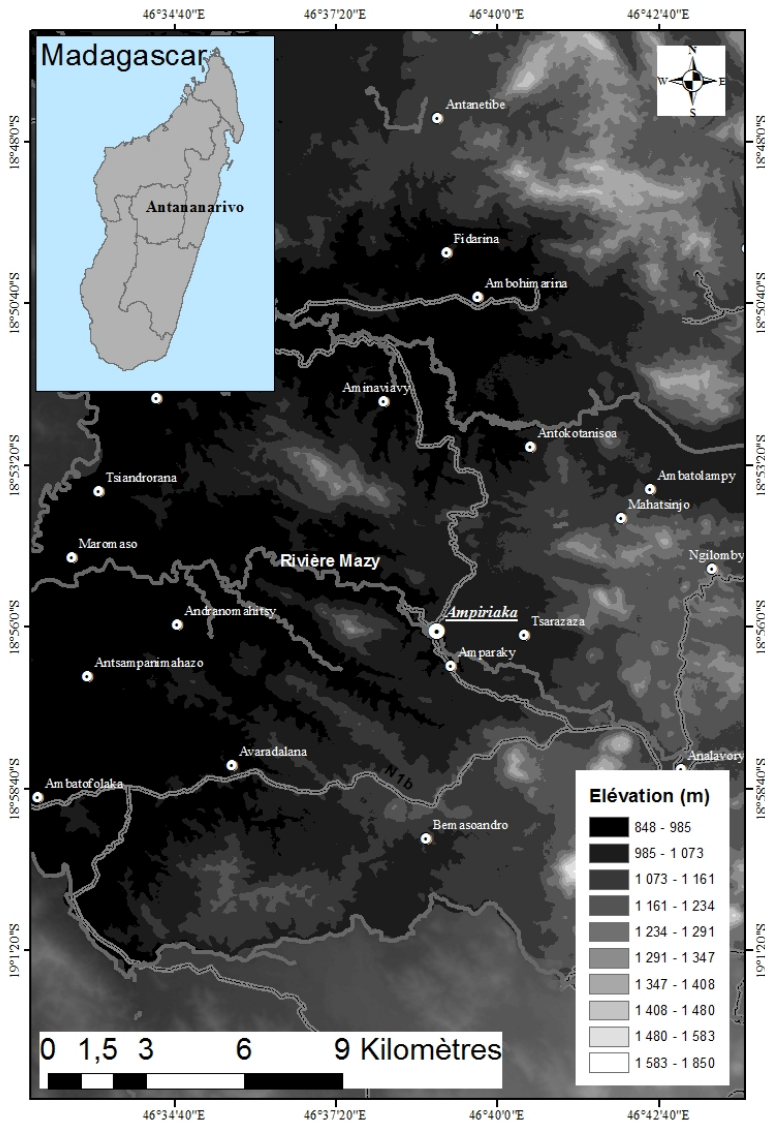
Le nom mollusque est tiré du latin « mollis » qui signifie mou. La science consacrée à son étude est la malacologie (Thiam, N., 2010). Les mollusques d'eau douce sont herbivores, détritivores et parfois omnivores. En matière d'alimentation, ils s'adaptent souvent aux ressources du lieu et à leur saisonnalité. Beaucoup d'escargots d'eau douce mangent des algues en été et des détritiques en hiver quand ils sont enfouis dans la vase. Ils sont présents sur tout le territoire sauf dans les zones de très haute montagne et en milieux très acides.

Depuis de nombreuses années, les Ostracodes lacustres sont reconnus comme étant des indicateurs environnementaux et paléoenvironnementaux (Mourguiart, P. et Correge, T., 1998). Ils sont présents sur Terre depuis l'Ordovicien (-450 Ma). Ce sont des Microcrustacés entourés d'une carapace bivalve calcique de taille variable entre 0.2 à 3 mm. Ils peuvent se rencontrer dans tous les types d'habitats aquatiques. 2090 espèces et 209 genres d'Ostracodes d'eaux douces sont recensés dans le Monde en 2011 (Decrouy, L.). L'objet de ce travail est la connaissance du paléoenvironnement du site d'Ampiriaka par l'étude des associations des faunules rencontrées. Le principe consiste à inventorier les faunules (Bivalves, Gastéropodes et Ostracodes) et à étudier les associations faunistiques dans les sédiments afin de reconstituer le paléoenvironnement du milieu.

## **MATERIELS ET METHODES**

### **Site d'étude**

Il se situe à Ampiriaka, dans le village d'Anivorano, Fokontany Amparaky, suivant la route national numéro 1 (RN1), à 5 kilomètres à vol d'oiseau du croisement vers le geyser d'Analavory en passant par le pont de la Rivière Mazy (18°56'04.00''S ; 046°38'59.86''E, Figure 1). La zone d'étude se situe dans la région où se trouve le célèbre site subfossilifère d'Ampasambazimba.



**Figure 1 : Localisation du site d'étude**

Le travail sur terrain commence par le prélèvement sur le terrain, il s'agit de prélever un échantillonnage des sédiments à partir d'une coupe géologique. La première étape concerne, l'excavation, elle constitue une étape nécessaire pour voir l'affleurement, ensuite, intervient la collecte des échantillons qui se fait de bas en haut pour éviter tous risques de contamination. Enfin, il est procédé à l'emballage des sédiments dans des sacs à échantillons étiqueté comprenant le nom du site, la date d'échantillonnage et le nom du collecteur.

Au laboratoire, le prélèvement des faunules se fait par tamisage à l'eau pour les nettoyer. Il faut assécher les refus afin de les trier. Le comptage et l'identification des spécimens sont effectués à l'aide d'une loupe binoculaire. Les formes dégagées sont ensuite photographiées à l'aide d'une microcapture.

### **Clé de détermination**

Il y a quelques clés de détermination pour faire l'étude des faunules, y sont comptés distinction de la partie antérieure et postérieure, l'enroulement de la coquille, la comparaison de deux (02) valves, le type de charnière, les empreintes musculaires et les stries d'accroissement. Les ouvrages antérieurs sont utilisés comme référence à l'identification et la comparaison des formes dégagées.

## **RESULTAT**

### **Dépôt sédimentaire**

La succession lithologique du site est formée de six (06) couches différentes (Figure 2). De bas en haut, les deux premiers niveaux sont constitués de tourbe, ensuite vient de l'argile suivie d'une couche de tourbe argileuse, de calcaire argileux et enfin le sol avec la végétation superficielle.

### **Invertébrés rencontrés**

Trois types de faunules sont observés dont les Bivalves, les Gastéropodes et les Ostracodes (Tableau 1, Figure 3). Les sédiments collectés pour l'étude de ces faunules se trouvent au niveau 2 (de 19 – 62 cm).

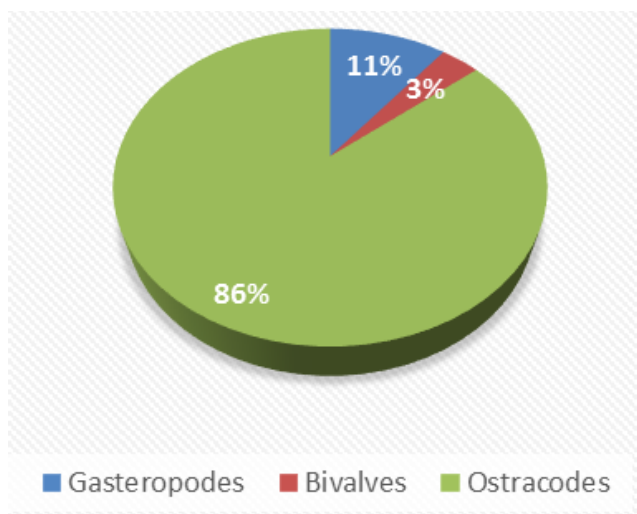
**Tableau 1:** Pourcentages des invertébrés rencontrés dans le site APK

Familles	Nombre	Pourcentage
Gastéropodes	5441	9,93
Bivalves	1924	3,51
Ostracodes	47425	86,56
Total	54790	100

Les Ostracodes sont plus importants en nombre. La maille de série de tamis est utilisée comme intervalle de mesure de leur taille. Suivant les 3 tamis considérés, le tamis numéro 3 est très riche en faunule. (Figure 3)

P(cm)	Niveau	Log	Lithologie	Couleur	Description
0.00					
10.00					
20.00	N6		Sol	Marron	Sol avec des racines, meuble, grains grossiers, moyens et fins
30.00					
40.00					
50.00	N5		Calcaire argileux	Verte, jaune	Meuble, grains grossiers, moyens et fins
60.00					
70.00	N4		Tourbe argileuse	Noire	Meuble, grains grossiers, moyens et fins
80.00					
90.00					
100.00	N3		Argile	Noire grisâtre	Meuble, grains fins avec des matières organiques
110.00					
120.00					
130.00	N2		Tourbe	Gris très foncé à brun	Meuble avec des grains fins et moins grossiers ; présence des bois petrifiés, débris des matières organiques (feuilles, branches, graines), des ossements et des faunules
140.00					
150.00					
160.00					
170.00	N1		Tourbe	Marron	Grains fins et plus friables avec des basales, matières organiques, ossements des vertébrés et faunules
180.00					
190.00					

**Figure 2 :** Coupe lithologique et stratigraphique du site



**Figure 3 :** Représentation des faunules du site

## ***Bivalves***

Les bivalves sont des invertébrés à coquille, formée de deux valves symétriques accolées l'une à l'autre au niveau d'une charnière. Ils sont aussi appelés Accéphales du fait de l'absence de tête individualisée. Ils vivent en milieu aquatique (marin ou eau douce).

Le genre observé sur le site est le *Pisidium betafoense* (Kuiper, 1953), (Tableau 2).

**Tableau 2** : Classification du genre *Pisidium*

Règne	Animalia Linnaeus, 1758
Embranchement	Mollusca Cuvier, 1795
Classe	Bivalvia Linnaeus, 1758
Sous-classe	Heterodonta Neumayr, 1884
Ordre	Sphaeriida Lemer, Bieler & Giribet, 2019
Famille	Pisidiidae Gray, 1857
Sous-famille	Pisidiinae Gray 1857
Genre	<i>Pisidium</i> Pfeiffer, 1821
Espèce	<i>Pisidium betafoense</i> Kuiper, 1953

Ce genre est un des très petits ou minuscules bivalves d'eau douce de la famille des Pisidiidae dont la taille de la coquille des adultes est inférieure à 1 cm. Il vit sur les fonds sableux à sablo – vaseux voire franchement vaseux.

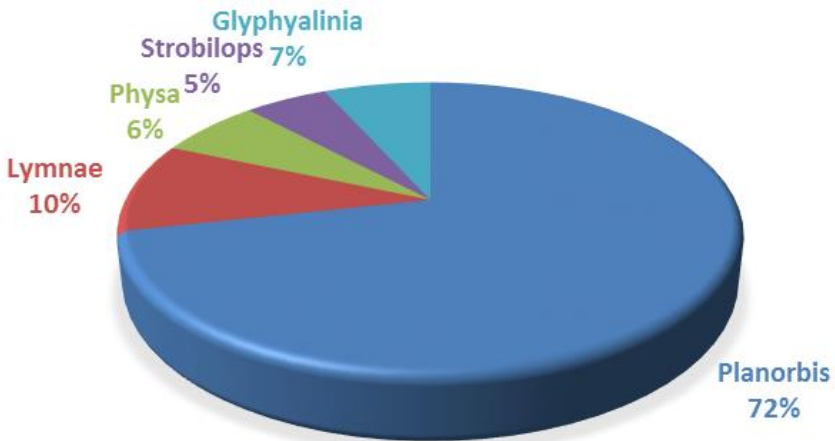
## ***Gastéropodes***

Ce sont des organismes vivants à coquille enroulée, constituée d'une seule pièce qui sert de protection au corps de l'animal. Il y a plusieurs formes de la coquille. Sur le site, il n'y a que 3 formes dont celle en spirale celle aplatie, et celle conique. Ils vivent sur les plantes aquatiques des eaux stagnantes ou les pierres des eaux courantes. Parmi les 5 genres identifiés, le genre *Planorbis* est dominant il représente 71.56% du total (Tableau 3).

**Tableau 3 :** Pourcentages des Gastéropodes rencontrés dans le site APK

Genres	Nombre	Pourcentages
<i>Planorbis</i>	4164	71,56
<i>Lymnae</i>	582	10,00
<i>Physa</i>	378	6,50
<i>Strobilops</i>	305	5,24
<i>Glyphyalinia</i>	390	6,70
Total	5819	100

La dominance des espèces des *Planorbis* est notable au niveau du groupe des Gastéropodes. Le pourcentage des *Lymnae* est de 10% et les autres genres (*Physa*, *Strobilops* et *Glyphyalinia*) ont un pourcentage inférieur à 10%.



**Figure 4 :** Répartition des Gastéropodes

La classification des Gastéropodes rencontrés sur le site est représentée par le tableau 4.

**Tableau 4 :** Classification des Gastéropodes rencontré

Règne	Animal Linnaeus, 1758
Embranchement	Mollusques Cuvier, 1795
Classe	Gastéropodes Cuvier, 1795
Sous classe	Pulmonés Cuvier in Blainville, 1814

Ordre	Basommatophores Keferstein, 1864			Stylommatophores Schmidt, 1856	
Famille	Planorbidae Rafinesque, 1815	Lymnaeidae Rafinesque, 1815	Physidae Fitzinger, 1833	Strobilopsidae Wenz, 1915	Zonitidae Mørch, 1864
Genre	<i>Planorbis</i> O. F. Muller, 1773	<i>Lymnae</i> Lamarck, 1799	<i>Physa</i> Draparnaud, 1801	<i>Strobilops</i> Pilsbry, 1893	<i>Glyphylana</i> E.C. Von Martens, 1892

### *Ostracodes*

Ceux sont des Entomostracés, caractérisés par deux valves asymétriques constituant une coquille qui enferme le corps. Les coquilles sont souvent allongées et comprimées latéralement, mais il existe de nombreuses espèces à coquilles trapues ou globuleuses avec des protubérances donnant un aspect bizarre à ces petits Crustacés. Les deux valves ne sont jamais de la même longueur et tantôt la marge antérieure tantôt la postérieure de la valve droite ou gauche dépasse légèrement ou fortement l'autre. En général, l'extrémité antérieure de la coquille de vue dorsale est plus pointue que la postérieure. Le genre *Candona* est présent sur le site, il est un ostracode d'eau douce appartenant à la sous-classe de Podocopa (classification, tableau 5).

**Tableau 5 :** Classification du genre *Candona*

Règne	Animalia Linnaeus, 1758
Embranchement	Arthropoda Latreille, 1829
Classe	Ostracoda Latreille, 1802
Sous-classe	Podocopa Sars, 1866
Ordre	Podocopida Sars, 1866
Famille	Candonidae Kaufmann, 1900
Genre	<i>Candona</i> Baird, 1845

## DISCUSSION

### Lithologie

Le niveau 1 du site est une tourbe de couleur marron composée de grains fins et friables, du basalte, des matières organiques, des ossements de vertébrés et des gastéropodes. Le niveau 2 est aussi constitué de tourbe mais de couleur grise très foncée à brune. Il est meuble avec des grains fins et moins grossiers. C'est la couche fossilifère du site, elle est caractérisée par la présence de bois pétrifiés, de débris de

matières organiques (feuilles, branches, graines), d'ossements et de faunules. Le niveau 3 est composé d'argile noire grisâtre, meuble, à grains fins avec des matières organiques. Le niveau 4 est constitué de tourbe argileuse noire, meuble avec grains grossiers, moyens et fins. Le niveau 5 est un calcaire argileux de couleur vert et jaune, meuble avec grains grossiers, moyens et fins. Le niveau 6 est le sol de couleur marron avec des racines, il est meuble, et comporte des grains grossiers, moyens et fins.

Selon Standing, (1908), les sédiments qui remplissent l'ancien lac d'Ampasambazimba, qui a environ 1 mètre de profondeur, se composent de restes de végétaux récents mélangés de la boue et de l'eau. Cela se superpose sur une strate de débris de forêt, composée de feuilles, brindilles, graines et fruits de nombreuses espèces. Au-dessous de cette strate, il y a, fréquemment, une couche de branches, plus grandes et des troncs d'arbres. En général, les ossements commencent à apparaître avec cette couche de bois, mais sont également parfois rencontrés à un niveau proche de la surface. Les restes de Primates sont rencontrés à toutes les profondeurs" (Tattersall, I., 1973).

## Faunules

Certaines espèces de lamellibranches passent une partie de leur vie comme parasite de poissons et jouent un rôle important dans le cycle biogéochimique des éléments du cours d'eau et des sédiments, et en matière de filtration de l'eau. Elles représentent d'excellents indicateurs écologiques. Les populations de mollusques bivalves jouent un rôle actif dans les processus de sédimentation et de purification (Thiam, N., 2010). Quelques espèces de mollusques d'eau douce sont fixées et les autres sont libres. Elles étaient présentes dans presque tous les types de cours d'eau, les lacs, étangs et grands marais.

La distribution géographique des espèces s'explique par l'intervention d'organismes vecteurs (Vertébrés ou Invertébrés). Certaines espèces des genres *Sphaerium* et *Pisidium* sont transportées par de gros coléoptères aquatiques comme au stade juvénile. La plupart des larves ou jeunes individus peuvent aussi se laisser emporter par le courant. Les *Lymnaea* et *Physa* peuvent vivre dans des eaux thermales à des températures élevées (entre 30 et 46 °C). Les *Lymnaea*, *Physa* et *Planorbis* sont présents dans les milieux riches en plantes, vase ou substrat rocheux.

Les genres *Strobulops* et *Glyphylana* appartiennent à l'Ordre des Stylommatophores qui restent dans les habitats terrestres, ce sont les escargots et les limaces. Ils sont une source alimentaire pour leurs prédateurs, participent au contrôle de la végétation et sont vecteurs de parasites et maladies.

En eau stagnante, les Pulmonés sont généralement dominants et souvent très abondants dans la végétation. Ils sont également fréquents sur tous les débris végétaux

flottant près des berges. Les principaux habitats des mollusques sont constitués par la végétation et les substrats.

D'après KISS, (1959), les Ostracodes sont présents partout où il y a de l'eau même en faible quantité, comme dans les mousses humides ou dans les aisselles des feuilles, dans les creux des troncs d'arbres, les eaux glacées, les sources thermales et dans l'eau de mer et même jusque dans les eaux de pluie les plus pures. Leur taille est très variable. Il existe des espèces macroscopiques, bien visibles à l'œil nu, de 3 à 5 mm et d'autres, microscopiques (surtout chez les Darwinulidae). Ils se nourrissent principalement de microorganismes aquatiques, animaux et végétaux, et de matières en décomposition.

## CONCLUSION

Les sédiments rencontrés sur le site sont des produits d'érosion des bassins versants entourant la tourbière. Ils indiquent un dépôt lacustre composé notamment d'argiles à granulation très fine qui marque l'influence volcanique ou du moins la source thermique. Ce marécage aurait été une zone remplie d'eau en permanence. L'étude des faunules du site d'Ampiriaka a permis de connaître le paléoenvironnement. Ils sont des témoins importants et représentent des indicateurs dans le temps. La présence des Ostracodes du genre *Candona*, des Gastéropodes (*Planorbis*, *Lymnae*, *Physa*, *Glyphyalinia* et *Strobilops*) et des Bivalves (*Pisidium*) montrent qu'Ampiriaka était un milieu aquatique. La plupart de ces espèces peuvent vivre dans des eaux thermales, cela confirme la présence du volcanisme dans le milieu. Les bases de données sur les faunules sont insuffisantes pour confirmer les résultats. D'autres études auprès de différents sites subfossiles de Madagascar sont recommandées.

## Remerciements

Nous adressons nos vifs remerciements à l'Université d'Antananarivo et à l'équipe du Laboratoire de Micropaléontologie et de Paléobotanique de l'Université d'Antananarivo de nous avoir aidé et accompagné, d'être notre proche collaborateur durant la réalisation de ce travail.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Burney, D. A. (1999). Rates, patterns, and processes of landscape transformation and extinction in Madagascar. *Extinctions in Near Time.*, 145-164. New York : R. MacPhee Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- 2) Burney, D. A., Burney, L. P., Godfrey, L. R., Jungers, W. L., Goodman, S. M., Wright, H. T. et al. (2004). A chronology for late prehistoric Madagascar. In *Journal of Human Evolution*, 47 :25-63.
- 3) De Winter, A.J., Van Leeuwen, S., Hovestadt, A., (2016). New species of *Glyphyalus* from St. Eustatius. In *Basteria*. 80(1-3) : 39 - 46
- 4) Fischer-Piette, E., Blanc, F. et Vukadinovic, D. (1974). Addition aux Mollusques terrestres de Madagascar. *Bull. M.N.H.N.*, 218 : 465-524.
- 5) Lister, K. H. (1975). Quaternary freshwater ostracoda from the Great Salt Lake basin, Utah. In *The University of Kansas Paleontological Contributions*. 78 : 1-39.
- 6) Gargominy, O. et Ripken, Th. (2006). Données nouvelles sur les mollusques (Mollusca, Gastropoda) du Parc national du Mercantour (France). In *MalaCo*. 3 : 109-139.
- 7) Gargominy, O., Prie, V., Bichain, J.-M., Cucherat, X. et Fontaine, B. (2011). Liste de référence annotée des mollusques continentaux de France. In *MalaCo*. 3 : 307-382.
- 8) Guillaumet, J.-L. & Koechlin, J. (1971). Contribution à la définition des types de végétation dans les régions tropicales (exemple de Madagascar). In *Candollea*. 2612 : 263-211.
- 9) Kiss, R. (1959). Les Ostracodes de l'Afrique tropicale. In *Rev. zool.* 358-368.
- 10) Decrouy, L., Vennemann, T. et Loizeau, J.-L. *Évaluation de la qualité benthique des lacs par l'analyse des ostracodes (Crustacea) : exemple du Léman*, In *IDYST – FGSE – Université de Lausanne Département F.-A. Forel – Université de Genève*
- 11) MacPhee, R.D.E., Burney, D. A. et Wells, N. A., (1985). Early Holocene Chronology and Environment of Ampasambazimba, a Malagasy Subfossil Lemur Site. In *International Journal of Primatology*. 5 : 463-489.
- 12) Mourguiart, P. et Corregge, T., (1998). Ecologie et paléocologie des Ostracodes actuels et holocènes de l'Altiplano bolivien [*Ecology and palaeoecology of Recent and Holocene ostracods from Bolivian Altiplano*]. What about Ostracodal Actes du 3<sup>e</sup> Congrès Européen des Ostracodologistes, 1996. In *Bull. Centre Rech. Elf Explor.Prod.*, Mém. 20 : 103-115.
- 13) Rakotondrazafy, T., (1987). Contribution à l'étude micropaléontologique du bassin sédimentaire volcano-lacustre d'Ampasambazimba, Analavory : Essai d'interprétation des données micropaléontologiques et chimiques. Antananarivo.

14) Tattersall, I., (1973). A Note on the Age of the Subfossil Site of Ampasambazimba, Miarinarivo Province, Malagasy Republic. In *The American Museum of Natural History Central Park West at 79<sup>TH</sup> Street, N° 2520*. New York.

15) Thiam, N. et Diallo, A., (2010). Module de formation des formateurs sur le suivi des Mollusques d'eau douce. In *Mollusques d'eau douce*. 44 p.

## PLANCHE



1) *Pisidium* (Bivalves)



2) *Lymnae*



3) *Physa*



4) *Planorbis*



5) *Strobilops*



6) *Glyphyalinia* (Gastéropodes)



7) *Candona* (Ostracodes)

# EFFET DE LA COLLE VINYLIQUE SUR L'INTERFACE FIBRE DE SISAL/RESINE POLYESTER

par

ANDRIAMBOAFIDY NyAry Mendrika John<sup>(1)</sup>,  
RAMAROSON Mamiharijaona<sup>(1)</sup>, RAJAONAH Rabevala<sup>(1)</sup>

(1) Laboratoire de Métallurgie et Chimie, Ecole Supérieure Polytechnique, Université d'Antsirananana, Madagascar

## RESUME

Les fibres végétales sont généralement utilisées dans le secteur de l'artisanat à Madagascar (sisal, raphia, etc.), elles constituent pourtant de bons renforts pour les matériaux composites, et ce, grâce à leurs propriétés mécaniques à faible densité. Cependant, les groupes hydroxyles des fibres végétales les rendent incompatibles avec les matrices polymères. La transformation des fibres de sisal en matériau composite végétale pour une construction durable et l'amélioration entre l'interface fibre/résine polyester permettant une augmentation de la résistance du matériau composite sont ici étudiées, ceci entre dans le cadre de la valorisation de ces fibres. C'est ainsi que, des fibres de sisal ont été traitées dans des solutions de colle vinylique à différentes concentrations pendant 30 minutes, tandis que d'autres ont été traitées dans une solution de colle vinylique à 10% de concentration pendant différents temps déterminés. Les fibres ont ensuite été immergées dans une matrice de résine polyester, séchées, puis soumises à un test de déchaussement afin de déterminer le module de résistance au cisaillement interfacial ou IFSS. Elles ont également été soumises à un test de traction. Les résultats montrent que la résistance maximale à la traction des fibres est de 180,27 MPa pour un traitement à 50% pendant 30 min et de 225,36 MPa pour un traitement à 10% pendant 24h. Par l'essai de déchaussement, une amélioration de 198,34% par rapport aux fibres brutes est observée pour le traitement à 40% de concentration pendant 30 minutes. Une amélioration de 91,73% est observée pour le traitement à 10% de concentration pendant 4 jours par rapport aux fibres brutes.

**Mots clés :** Matériau composite, interface fibre/matrice, décohésion, essai de déchaussement, IFSS (InterfacialShearStrength)

## ABSTRACT

Plant fibers are generally used in crafts in Madagascar (sisal, raffia, etc.), yet they are a good reinforcement for composite materials with a good mechanical properties at low density. However, the hydroxyl groups of plant fibers make them incompatible with polymer matrix. As part of the valorization of sisal fibers from Madagascar by their transformation into vegetable composite material for sustainable construction, an improvement between the fiber / polyester resin interface allowing an improvement in the resistance of the composite material is studied. On the one hand, the sisal fibers are treated in solutions of vinyl glue at different concentrations for 30 minutes. On the other hand, the sisal fibers are treated in a solution of vinyl glue at 10% concentration for different times. Raw and treated fibers immersed in a polyester resin matrix and dried are subjected to a pull-out test to determine the modulus of interfacial shear strength or IFSS. They are also subjected to a tensile test. The result shows that the maximum tensile strength of the fibers is 180.27 MPa for a 50% treatment for 30 min and 225.36 MPa for a 10% treatment for 24 hours. By the pull-out test, an improvement of 198.34% over raw fibers was observed for the treatment at 40% concentration for 30 minutes. An improvement of 91.73% was observed for the treatment at 10% concentration for 4 days compared to raw fibers.

**Keywords :** Composite material, fiber-matrix interface, decohesion, pull-out test, IFSS

## INTRODUCTION

Madagascar est une île qui regorge de plantes végétales à fibres, celles issues du sisal en font partie et sont majoritairement exportées et utilisées dans l'artisanat (H. VESTALYS, 2008). Or, associées à une matrice polymère, les plantes à fibres sont de bon renfort pour les matériaux composites, c'est le cas des fibres de sisal avec la résine polyester (D. Silva da Costa, 2015). Les recherches effectuées pour l'amélioration des propriétés physico-chimiques des composites fibres de sisal/polyester sont actuellement en hausse, notamment en matière d'interfaces fibres/matrices, et ce, dans le but de remplacer les composites à fibres synthétiques tel que les composites fibres de verre/polyester, du fait que les fibres végétales sont biodégradables et donc favorables à l'environnement. Leurs propriétés physiques relatives à leur légèreté constituent une qualité certaine pour l'avenir des matériaux composites (I. D. Ibrahim, 2016). En ce qui concerne le composite sisal/polyester, le traitement avec du poly (méthyl méthacrylate) améliore l'adhésion interfaciale de la fibre/matrice avec un taux de 0.025% à 0.1%, et ce, volume par volume et précédé d'un traitement avec de la NaOH pour éliminer les éléments indésirables. L'amélioration de l'interface fibre matrice engendre l'augmentation des propriétés mécaniques du composite (tension, flexion, impact et dureté). Le traitement de la fibre de sisal avec 0.25-10% en masse de NaOH et 1, 2 et 3% en masse de N-isopropyl-acrylamide permet de croître la cristallinité de la fibre par l'extraction des éléments amorphes (lignine et l'hémicellulose) mais diminue sa densité. Ces traitements ont donné une amélioration

de la texture surfacique par l'élimination des substances et conduit à une bonne compatibilité de la fibre avec le polyester, par contre, les chercheurs ont également observé une diminution de la résistance du composite (S. Haghdan, 2015). Dans le cas présent, le traitement des fibres de sisal pour l'amélioration des caractéristiques interfaciales fibre/matrice est basé sur l'utilisation de la colle vinylique comme agent de couplage permettant de créer un pont de liaison entre les fibres et la matrice. Le principe utilisé consiste à traiter les fibres de sisal avec une solution aqueuse de colle vinylique en fonction de la concentration et du temps de traitement. Des essais de traction et de déchaussement ont été effectués pour la caractérisation mécanique des fibres et de l'interface fibre/matrice.

## MATERIELS ET METHODES

### Matériels

#### *Fibres de sisal*

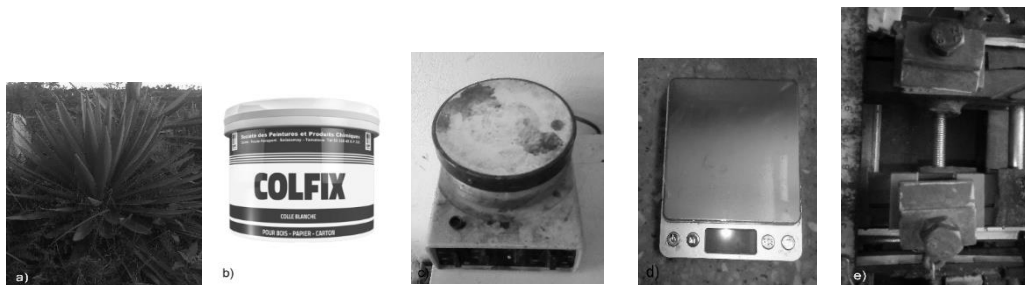
Les fibres de sisal provenant des feuilles de sisal (*Agave Sisalana*)(fig. 1a) ont été obtenues dans la région du Vakinakaratra, dans la commune d'Ambatomainty. Les fibres ont été obtenues par extraction manuelle (figure 2).

#### *Colle vinylique*

La colle blanche COLFIX (figure 1b) qui est une colle à base de résine vinylique en phase aqueuse constituée de polyacétate de vinyle (ou PVAc)  $((C_4H_6O_2)_n)$ , utilisée pour le traitement des fibres a été obtenue auprès de la société S2PC (Société des Peintures et Produits Chimiques) de Toamasina.

#### *Résine polyester*

La résine polyester utilisée est un NCS 991PAU-40 qui est un polyester isophthalique insaturé polyvalent, pré-accélééré, non ciré, obtenu auprès de la société SPCI (Société de Produits Chimiques Industriels) de Madagascar.



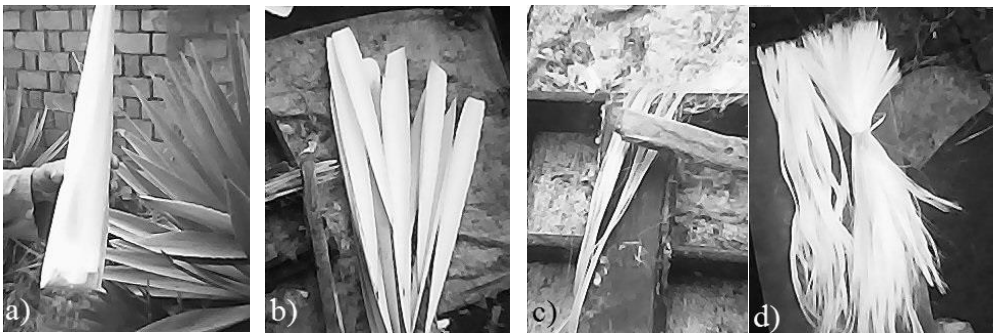
**Figure 1 :** Matériels utilisés : a) feuilles de sisal, b) colle vinylique, c) agitateur magnétique Heidolph MR2020, d) balance de précision, e) machine de micro-traction.

## Méthodes

### *Préparation des fibres*

L'extraction des fibres utilisées dans cette étude a été effectuée manuellement. Les feuilles de sisal au cœur de la plante ont été choisies (figure 2a et 2b) pour la facilité de l'extraction manuelle. Un outil à bois tranchant a été utilisé pour la décortication des feuilles de sisal (figure 2c).

L'élimination des impuretés sur les fibres a été effectuée par un lavage dans de l'eau chaude à 50°C (Paulo R. L. Lima, 2014) grâce à un chauffe eau à température contrôlable sur 30 minutes. Les fibres lavées ont été séchées à température ambiante à l'abri du soleil pendant 3 jours avant d'être stockées dans des sachets étanches en plastique (K. D. Belaid, 2011) dans une enceinte hermétiquement fermée.



**Figure 2** : Extraction manuelle des fibres de sisal ; a) feuilles au niveau du cœur de la plante, b) feuilles de sisal, c) défibrage, d) fibres de sisal

### *Traitement à la colle vinylique*

Les échantillons de solution ont été obtenus en diluant la colle vinylique dans de l'eau distillée. Les fibres de sisal d'une proportion en masse de 1% par rapport à la solution de colle vinylique ont été traitées d'une part dans des solutions de colle vinylique à différentes concentrations (20%, 30%, 40%, 50%) dans des conditions ambiantes sur une durée de 30 minutes et sous une agitation de 120 tr/min (X. Mi †, 2018) grâce à un agitateur magnétique Heidolph MR2020 (figure 1c) et, d'autre part dans une solution de colle vinylique à 10% de concentration dans les mêmes conditions sur une durée de 1h, 4h, 8h, 12h, 24h et 4j et toujours sous une agitation de 120 tr/min. Les fibres traitées ont été séchées à température ambiante à l'abri du soleil pendant 24h.

### *Test de traction*

La caractérisation des fibres a été effectuée sur une machine de micro-traction (figure 1e) avec une vitesse de déplacement de 5 mm/min. Les fibres brutes et traitées

ont été soumises à un test de traction. Une longueur de fibre de 50 mm a été collée sur un patron en papier (figure 3b) pour un meilleur alignement sur la machine de traction. La résistance à la rupture a été obtenue à partir du moment où la fibre se rompt.

### Test de déchaussement

Les fibres brutes et traitées ont été immergées dans une matrice de résine polyester insaturé avec 3% en masse de durcisseur, puis, séchées pendant 12h à température ambiante et à l'abri du soleil. Elles ont, par la suite, été soumises à un test de déchaussement pull-out afin de déterminer le module de résistance au cisaillement interfacial ou IFSS.

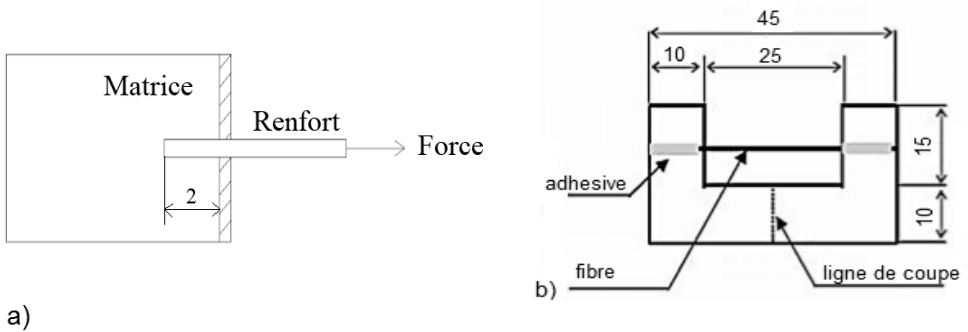


Figure 3 : a) Essai de déchaussement (D. Cuong NGUYEN, 2016), b) essai de traction (N. M. Nurazzi, 2017)

La résistance au cisaillement interfacial moyenne (IFSS) a été déterminée moyennant la formule (D. Cuong NGUYEN, 2016) :

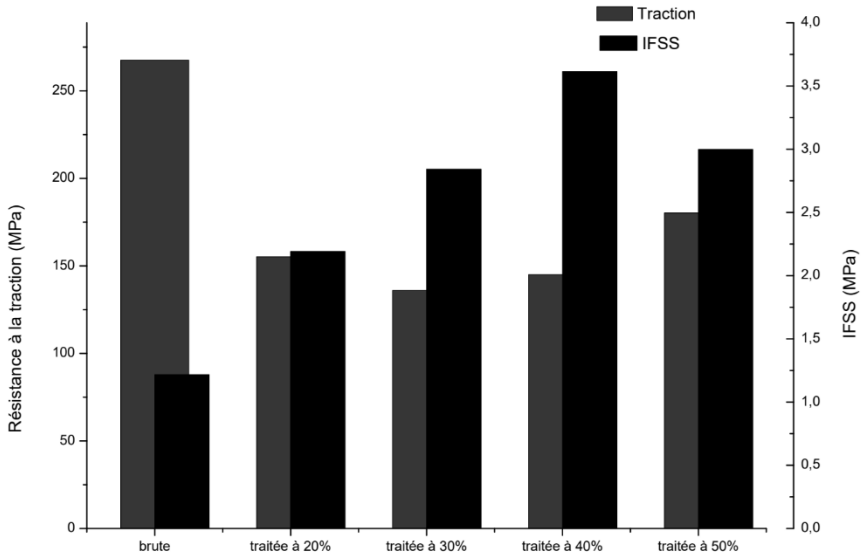
$$IFSS(MPa) = \frac{F_{max}}{2\pi r l_e}$$

où  $F_{max}$  est la force de décohésion fibre/matrice,  $r$  le rayon moyenne de la fibre et  $l_e$  la longueur de la fibre immergée dans la matrice.

Les fibres brutes et traitées ont été coupées pour avoir une longueur de 8 mm, puis, l'une des extrémités de la fibre a été collée sur un carton pour faciliter l'essai de traction et l'autre extrémité a été immergée dans la matrice à 2 mm de profondeur. Pour chaque cas, 5 essais ont été effectués.

## Effet de la variation de la concentration de la colle vinylique sur l'interface fibre/matrice

Les diagrammes de couleur grise (Figure 4) montrent la résistance en traction des fibres brutes et des fibres traitées en fonction de la variation de la concentration de la solution de la colle vinylique pendant une durée fixe de 30 minutes. Une diminution de la résistance à la traction des fibres traitées par rapport aux fibres brutes est alors observée. Tandis que pour les fibres traitées, une valeur maximale de 180,27 MPa est observée pour le traitement à 50% en masse de concentration de la solution de colle vinylique, et une valeur minimale de 135,97 MPa pour le traitement à 30%.



**Figure 4 :** Résistance en traction et IFSS pendant 30 min de traitement à la colle vinylique

Une augmentation de la résistance à la traction est observée en fonction de la concentration de la solution de colle vinylique, ici, entre 30 et 50%.

L'IFSS entre la fibre de sisal et la résine polyester est définie sur les diagrammes de couleur noir, en fonction des différentes valeurs de concentration de la solution de traitement des fibres qui montre une amélioration de 198,34% par rapport aux fibres brutes avec une valeur maximale de 3,61 MPa observée pour le cas de traitement à 40% en masse de concentration pendant 30 minutes ; et une valeur minimale de 2,19 MPa pour un traitement à 20% en masse de concentration de solution.

La hausse de la concentration jusqu'à un pic de 40% augmente l'adhésion entre la fibre de sisal et la résine polyester, puis, diminue à 50 %.

# Effet de la variation du temps de traitement des fibres de sisal sur l'interface fibre/matrice

Les diagrammes de couleur grise (Figure 5) montrent la résistance en traction des fibres brutes et des fibres traitées en fonction du temps de traitement des fibres pour une concentration en masse de solution de 10%. Les diagrammes montrent une diminution de la résistance à la traction des fibres traitées par rapport aux fibres brutes. Il est à noter que pour les fibres traitées, une valeur maximale de 225,36 MPa est observée pour un traitement à 10% en masse de concentration pendant 24h, et une valeur minimale de 55,56 MPa pour le traitement pendant 4h.

Une augmentation de la résistance à la traction est observée dans le cas d'une augmentation du temps de traitement des fibres de 4h à 24h et diminue pour un traitement de 4j.

L'IFSS est définie sur les diagrammes de couleur noire en fonction des différentes valeurs de temps de traitement des fibres. Ces diagrammes montrent une amélioration de l'IFSS de 91,73% par rapport aux fibres brutes avec une valeur maximale de 2,32 MPa observée pour le cas de traitement à 10% de concentration en masse pendant 4 jours, et une valeur minimale de 1,22 MPa pour un traitement de 8h.

Une diminution de l'adhésion entre la fibre de sisal et la résine polyester est observée jusqu'à 8h de traitement puis une augmentation de l'adhésion jusqu'à 4j de traitement.

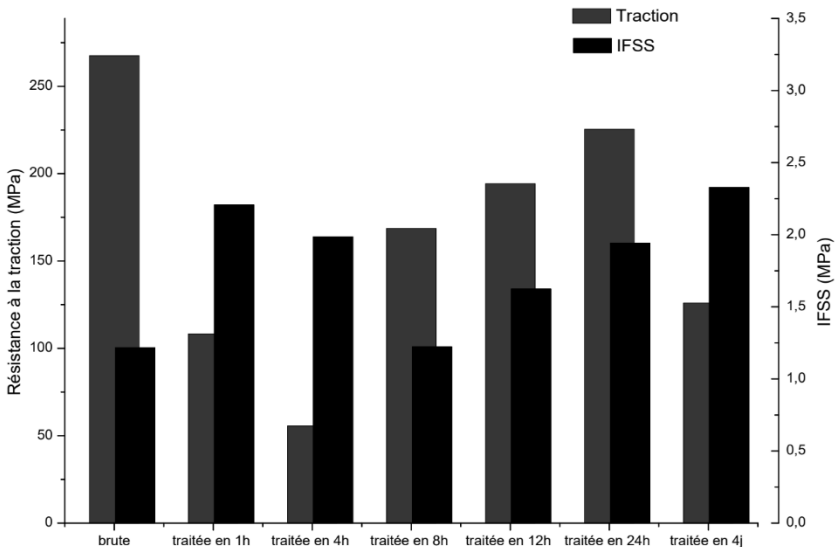


Figure 5 : Résistance en traction et IFSS avec un traitement à 10% de colle vinylique

## DISCUSSION

La résistance en traction des fibres brutes s'avère être inférieure par rapport aux résultats obtenus par d'autres chercheurs (Deibson Silva da Cost, 2015) (K. L. Pickering, 2015) (K. Joseph, 1999) (J. Naveen, 2018). Cela est peut-être dû au choix des jeunes feuilles de sisal effectué pour l'extraction des fibres.

La résistance à l'interface fibre de sisal/matrice polyester montre une amélioration satisfaisante par le traitement à la colle vinylique et est comparable à l'amélioration de l'interface des différents traitements des fibres de sisal effectués par d'autres auteurs (C. Yang, 2020), (A. Zhongsen Zhang, 2017). L'effet du traitement à la colle vinylique sur l'interface a été observé grâce au test de déchaussement. Lorsqu'une charge axiale a été appliquée à l'extrémité de la fibre immergée dans la matrice polymère, une contrainte interfaciale a été générée. Avec le processus de déchaussement, la contrainte a dépassé la résistance interfaciale, déclenchant le début du décollement interfacial avec rupture interfaciale progressive le long de la fibre, ceci a été vérifié par différents auteurs. (Paulo R. L. Lima, 2014) (H. Wu, 2019).

La colle vinylique joue le rôle de pont de liaison en formant une fine couche de film sur la surface des fibres (B. Khoon Tan, 2015). L'augmentation de la résistance interfaciale est obtenue car la fine couche de film de colle vinylique est compatible avec la surface de la fibre. La fonctionnalité organique (amine, méthacrylique, vinylique, etc.) améliore l'adhérence et la compatibilité entre les matrices polymériques et les substrats comportant des groupements hydroxyles comme les fibres cellulosiques, voire se copolymérise avec des matrices organiques, améliorant ainsi l'adhésion interfaciale entre les deux phases. (M. C. Brochier Salon, 2005)

## CONCLUSION

Le traitement des fibres de sisal avec la colle vinylique qui joue le rôle d'agent de couplage a modifié les propriétés de la traction des fibres et amélioré la force de rupture interfaciale de la fibre de sisal et la matrice polyester par rapport à aux fibres brutes. La variation de la concentration de la solution de colle vinylique a varié les propriétés de traction des fibres traitées et la résistance interfaciale fibre-matrice avec une valeur plus élevée de 40% en masse pendant 30 min. La durée du temps de traitement de 24h a donné une amélioration en matière de résistance à la traction, et le traitement de 4j la résistance interfaciale fibre-matrice.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) A. Zhongsen Zhang and B. Yan Li. (2017). Effects of cellulose nanocrystals on the interfacial properties of sisal fibers/epoxy composites. *21st International Conference on Composite Materials Xi'an, 20-25th.*

- 2) B. Khoon Tan, Y. Chee Ching †, S. Chew Poh, L. Chuah Abdullah †, and S. Neon Gan †. (2015). A Review of Natural Fiber Reinforced Poly (Vinyl Alcohol) Based Composites: Application and Opportunity. *Polymers*, 7: 2205–2222.
- 3) D. Cuong NGUYEN. (2016). Caractérisation de l'interface fibre/matrice. Application aux composites polypropylène/chanvre.
- 4) D. Silva da Costa, J. Antônio da Silva Souza, D. da Silva Costa and P. Silva de Oliveira. (2015). Characterization of Sisal Fibers for use as Reinforcement in Polymer Composites. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 4(8):70-75.
- 5) C. Yang, R. Han, M. Nie and Q. Wang. (2020). Interfacial reinforcement mechanism in poly (lactic acid)/natural fiber biocomposites featuring ZnO nanowires at the interface. *Materials and Design*, 186:108332.
- 6) H. Wu, and M. Hao. (2019). Strengthening and Toughening of Polylactide/Sisal Fiber Biocomposites via in-situ Reaction with Epoxy-Functionalized Oligomer and Poly (butylene adipate-terephthalate). *Polymers*, 11(11):1747.
- 7) I. D. Ibrahim, T. Jamiru, E. R. Sadiku, W. K. Kupolati, S. C. Agwuncha and G. Ekundayo. (2016). Mechanical properties of sisal fibre-reinforced polymer composites: a review. *Journal of Composite Interfaces*, 23(1):15-36.
- 8) J. Naveen, M. Jawaid, P. Amuthakkannan and M. Chandrasekar. (2018). Mechanical and physical properties of sisal and hybrid sisal fiber-reinforced polymer composites.
- 9) K. D. Belaid et S. Kacha. (2011). Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant basique sur la sciure de bois. *Revue des sciences de l'eau*, 24(2):131–144.
- 10) K. Joseph, R. Dias TolêdoFilho, B. James, S. Thomas and L. Hecker de Carvalho. (1999). A review on sisal fiber reinforced polymer composites. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 3(3):367-379.
- 11) K. L. Pickering, M. G. AruanEfendy, T. M. Le. (2016). A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83: 98-112.
- 12) M. C. Brochier Salon, M. Abdelmouleh, S. Boufi, M. NaceurBelgacem, A. Gandini. (2005). Silane adsorption onto cellulose fibers: Hydrolysis and condensation reactions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 289: 249–261.
- 13) N. M. Nurazzi, A. Khalina1, S. M. Sapuan, A. M. Dayang Laila and M. Rahmah. (2017). Curing behaviour of unsaturated polyester resin and interfacial shear stress of sugar palm fibre. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 11(2):2650-2564.

- 14) Paulo R. L. Lima, Rogério J. Santos, Saulo R. Ferreira and Romildo D. Toledo Filho. (2014). Characterization and treatment of sisal fiber residues for cement-based composite application. *Eng. Agric., Jaboticabal*, 34(5):812-825.
- 15) S. Haghdan and G. D Smith. (2015). Natural fiber reinforced polyester composites: A literature review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 34(14):1179–1190.
- 16) H. VESTALYS et M. S. ANDRIANARIVELO ANDRIATOAVINA (2008). Analyse de la filière artisanat à base de fibres végétales dans la région Analamanga.
- 17) X. Mi †, M. Shen, J. Zhai, M. Ren, R. Peng and G. Li. (2018). Effect of Solution pH and Isotherm Study on Adsorption of PVA Using Activated Carbon Fibre. *Nature Environment and Pollution Technology, An International Quarterly Scientific Journal*, 17:1325-1329.

# BIRDS AND LEMURS AS POTENTIAL SEED DISPERSERS OF MISTLETOE IN MADAGASCAR'S RAIN FORESTS

par

FENOSOA Zo Samuel Ella<sup>(1)</sup>, RAZAFINDRATSIMA Onja H.<sup>(2)</sup>,  
RAKOTOMANANA Hajanirina<sup>(1)</sup>, RAZAFINDRAIBE Hanta<sup>(3)</sup>,  
RASAMISOA Delaïd C.<sup>(4)</sup>, DUNHAM Amy E<sup>(5)</sup>

(1) Ecole Doctorale Sciences de la Vie et de l'Environnement, Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar

(2) Department of Natural Resource Management, South Dakota State University, Brookings SD 57007, USA

(3) Mention de Zoologie et Biodiversité Animale, Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar

(4) Institut Supérieur de Sciences, Environnement et Développement Durable, Université de Toamasina, Madagascar

(5) Department of BioSciences, Rice University, 6100 Main St. Houston, TX 77005

## ABSTRACT

In many terrestrial communities, the leaves and fruits of mistletoes serve as keystone resources for many animals during times of scarcity. However, in tropical forests of Madagascar, little information is available about potentially mutualistic interactions between mistletoes and frugivores, which may act as important seed dispersers. Understanding the dispersal of mistletoes by frugivores could provide new insights about the ecology of this potentially critical keystone resource.

We conducted a five-month study in the tropical rainforests of Ranomafana, in southeastern Madagascar to identify and quantify the fruit removal by frugivores visiting three taxa of mistletoe (*Bakerella* spp.), and also to evaluate the effects of the frugivores on the germination of *Bakerella* seeds.

We collected the data through direct observations of fruiting *Bakerella*, and germination experiments directly on host trees and in Petri dishes, using lemur-defecated seeds and manually depulped seeds from mature fruits.

We were unable to obtain seeds from bird scats for a comparison. Sixteen bird species and four lemur species consumed *Bakerella* fruits. The total number of fruits removed by birds was almost double that of lemurs for *Bakerella clavata* var. *amplifolia*, but lemurs removed four-fold and twice as many fruits than birds for *B. clavata* var. *baronii* and *B. gonoclada*, respectively. Lemur-defecated seeds had significantly higher germination rate than the manually depulped seeds in both lab and field conditions. These findings improve our understanding of the potential roles of both avian and primate frugivores in mistletoe dispersal ecology in Madagascar.

**Key words** : Seed dispersal, *Bakerella*, frugivores, fruit removal, germination, Loranthaceae, Ranomafana National Park, tropical wet forest

## Résumé

Dans plusieurs communautés terrestres, les feuilles et les fruits des guis servent de ressources-clés pour de nombreux animaux pendant les périodes de soudure. Cependant, dans les forêts tropicales de Madagascar, peu d'informations sont disponibles sur les interactions mutuelles potentielles des guis avec les frugivores qui peuvent être des agents disséminateurs de graines importants. La compréhension de la dissémination des graines des guis par les frugivores peut fournir de nouveaux éclaircissements à propos de l'écologie de cette potentielle ressource-clé critique.

Nous avons mené une étude de cinq mois dans les forêts tropicales humides de Ranomafana, au Sud-est de Madagascar, pour identifier les frugivores et quantifier la consommation des fruits des frugivores qui ont visité les trois taxa de gui (*Bakerella* spp.), et aussi pour évaluer les effets des frugivores sur la germination des graines de *Bakerella*.

Nous avons collecté les données à partir des observations directes de *Bakerella* en fructification, et par des expériences de germination effectuées directement sur les arbres hôtes et dans des boîtes de Pétri en utilisant des graines déféquées par les lémuriens et des graines extraites manuellement des fruits matures.

Nous n'avons pas pu obtenir des graines déféquées par les oiseaux pour faire la comparaison. Seize espèces d'oiseaux et quatre espèces de lémuriens ont consommé les fruits de *Bakerella* pendant la période d'étude. Le nombre total des fruits consommés par les oiseaux était presque le double de celui des lémuriens pour *Bakerella clavata* var. *amplifolia*, mais le nombre total des fruits consommés par les lémuriens était quatre fois et deux fois plus nombreux que celui des oiseaux pour *B. clavata* var. *baronii* and *B. gonoclada*, respectivement. Les graines provenant des fèces de lémuriens avaient un taux de germination significativement supérieur que celui des graines extraites manuellement des fruits, que ce soit pour les expériences effectuées au labo ou sur le terrain. Ces résultats augmentent notre compréhension des rôles potentiels des oiseaux et primates frugivores sur l'écologie de dissémination du gui à Madagascar.

**Mots-clés** : Dissémination des graines, *Bakerella*, frugivores, consommation de fruits, germination, Loranthaceae, Parc National de Ranomafana, forêts tropicales humides

## INTRODUCTION

Mistletoes, which are hemiparasitic flowering plants and draw water and mineral resources from their perennial host plants (Reid, Stafford, & Yan, 1995; Watson, 2001; Kuijt, 2003) are important resources for many animal species. Due to their hemiparasitic life history, mistletoes are able to be productive in times of resource scarcity, and thus are considered as keystone resources providing structural and nutritional resources to the canopy (Watson, 2001, 2012). In Madagascar, mistletoe leaves, fruits, and flowers are consumed by many vertebrate species, such as the Velvet Asity *Philepitta castanea*, Sifakas *Propithecus* spp., both during times of resource abundance and as a fallback food in disturbed or fragmented habitats (Irwin, 2008 ; Razafindratsita & Zack, 2009; Irwin, Raharison, Raubenheimer, Chapman, & Rothman, 2015; Krauss, 2018). However, the mutualistic interactions of mistletoes with frugivorous animals which have been reported to play an important role as seed dispersal agents for mistletoes worldwide (Ladley & Kelly, 1996; Aukema & Martínez del Rio, 2002; Green, Ward, & Griffiths, 2009), are rarely explored in tropical forests of Madagascar. Understanding the dispersal of mistletoes by frugivores could provide new insights about the ecology of an important forest resource.

Arboreal or flying frugivores are relied on by mistletoe seeds to be deposited on host tree branches for germination and establishment (Davidar, 1983; Amico & Aizen, 2000) as seeds falling to the ground cannot survive. They sometimes display behavior that increases the likelihood of being deposited at an adequate site when defecating or regurgitating seeds (Reid, 1989; Okubamichael, Rasheed, Griffiths, & Ward, 2011). Since mistletoe seeds are surrounded by a viscous sticky endocarp, frugivores remove the seeds stuck to their vent or beak by rubbing them on branches (Mathiasen, Nickrent, Shaw, & Watson, 2008).

In Madagascar's rainforests, bird and lemur consumers of mistletoe fruits are potential dispersers of its seeds. While the dispersal of mistletoe by birds is unknown, several species of lemurs, on the other hand, have been observed defecating mistletoe seeds (Atsalis, 1999 ; Razafindratsima, Jones, & Dunham, 2014 ; Génin & Rambeloarivony, 2018 ; Ramananjato, et al., 2020). The impacts of birds and lemurs on mistletoe seed dispersal may not be the same given their differences in population densities, diet composition and behaviors, which may affect the amount of fruits they consume and where seeds are deposited.

In this paper, we examine the role that frugivores may play in the seed dispersal of the mistletoe *Bakerella* spp. (Family : Loranthaceae) in the southeastern rainforests of Madagascar. We determined the potential seed dispersers of *Bakerella* spp. and quantified their fruit removal. We also evaluated the effects of frugivores on the germination of *Bakerella* seeds.

## MATERIALS AND METHODS

### Study System

This study was conducted in three sites in Ranomafana National Park (RNP) in southeastern Madagascar (47°18' - 47°37'E and 21°02' - 21°25'S). Vatoharanana and Valohoaka consist of primary forests within RNP and Nanetehana is a degraded forest on the boundary of the protected zone of RNP (Figure 1). The Park consists of 41,000 ha of montane rainforest (Wright, et al., 2012) with elevation ranges between 600 and 1,500 m (Wright & Andriamihaja, 2002). Ranomafana experiences a variable and increasing rainfall between years with an annual rainfall averaging 3,618 mm. Monthly rainfall is highly variable according to the season, with an average of 508 mm during the peak of wet season from January to March, and an average of 143 mm during the dry season which occurs from June through October (Dunham, Erhart, & Wright, 2011; Dunham, Razafindratsima, Rakotonirina, & Wright, 2018). The mean annual temperature ranges from 4 to 32°C (Dunham, Erhart, & Wright, 2011).

With the help of local field technicians, we identified the Malagasy name of each mistletoe observed on host trees based on the morphology (shape and size) of their leaves and fruits. We also collected four leaf samples from different individuals per species, for proper species identification by Dr. Benja Rakotonirina, a botanist at the University of Antananarivo. We recorded, in total, five taxa of *Bakerella* in our study sites : 1) *Bakerella clavata* var. *amplifolia* H. Lec.,

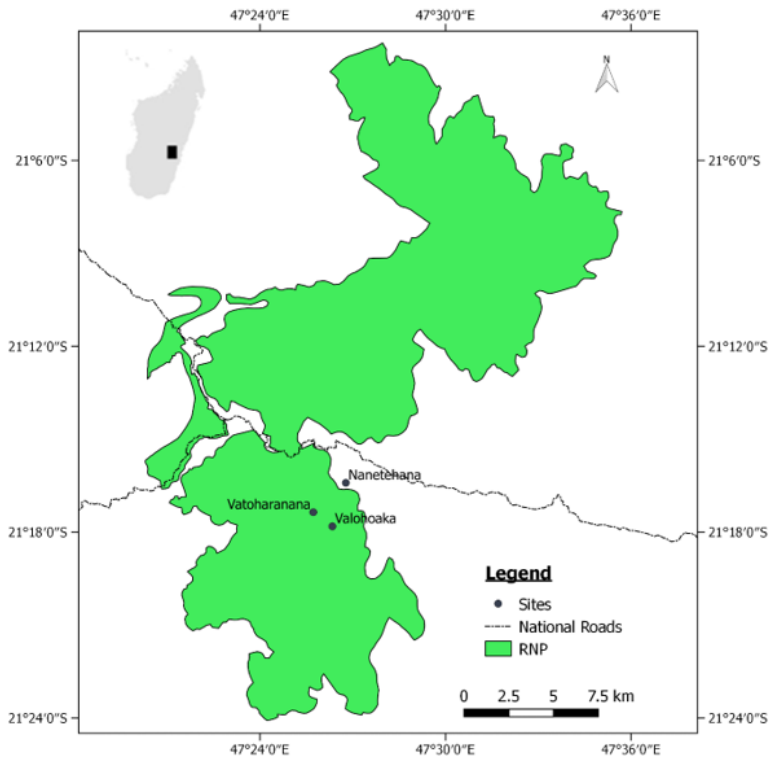
2) *B. clavata* var. *baronii* Baker,

3) *B. gonoclada* Baker,

4) *B. poissonii* subsp. *parvibracteata* H. Lec., and

5) *B. grisea* var. *grisea* Sc. Elliot.

*Bakerella* is endemic to Madagascar (Atsalis, 1999). The leaves of *Bakerella gonoclada*, *B. clavata* var. *amplifolia* and *B. clavata* var. *baronii* are elongated; those of *B. poissonii* subsp. *parvibracteata* and *B. grisea* var. *grisea* are thicker. All these five taxa of *Bakerella* produced light-green single-seeded fruits (Table 1) that were available during the rainy season from October through March (we did not follow the fruiting phenology during the other seasons).



**Figure 1** : Map of Ranomafana National Park showing the location of the study sites. Datasource : Réseau de la Biodiversité Malgache. ([www.rebioma.net](http://www.rebioma.net))

**Table 1** : Fruit characteristics, period of fruiting and site of observation of *Bakerella* spp. in RNP. Number in bracket indicates the number of fruits measured for the measurements of fruits and seeds

<i>Bakerella</i> taxa	Size of fruit mean $\pm$ SD (mm)	Seed size mean $\pm$ SD (mm)	Fruiting period	Observation site
<i>B. clavata</i> var. <i>amplifolia</i>	7.9 $\pm$ 0.6 x 5.3 $\pm$ 0.4 (21)	5.8 $\pm$ 0.9 x 3.7 $\pm$ 0.4 (21)	VT: Feb-March 2016; VL : Oct-Nov 2018; NN : Janv-Feb 2019	NN, VL, VT
<i>B. clavata</i> var. <i>baronii</i>	7.0 $\pm$ 0.4 x 6.7 $\pm$ 0.6 (29)	6.0 $\pm$ 0.5 x 5.3 $\pm$ 0.6 (29)	VL: Oct-Nov 2018; NN : Janv-Feb 2019	NN, VL, VT <sup>a</sup>
<i>B. poissonii</i> subsp. <i>parvibracteata</i>	-	-	VL: Oct-Nov 2018	VL
<i>B. grisea</i> var. <i>grisea</i>	-	-	VL: Oct-Nov 2018	VL <sup>b</sup>
<i>B. gonoclada</i>	-	-	NN : Janv-Feb 2019	NN

NN : Nanetehana, VL : Valohoaka, VT : Vatoharanana; <sup>a</sup> = recorded in this site but not watched; <sup>b</sup> = we stopped watching *B. grisea* var. *grisea* in this site after two weeks of observations as there was no consumer seen to remove its big fruits (> 2 cm in diameter, pers. obs.)

## Selection of mistletoes on infested trees

To select the mistletoe focal plants for monitoring of frugivore visitation, we checked for mistletoe infestation on all trees of more than 5 cm of Diameter at Breast Height (DBH) within two existing permanent one hectare plots in Vatoharanana and Valohoaka. We considered clusters of mistletoe individuals occurring on one tree branch as one individual infestation. In total, we recorded 30 and 19 infested trees within the plots of the sites of Vatoharanana and Valohoaka, respectively. We also tagged infested trees outside the plot and along main walking trails in these sites (35 and 60 infested trees, respectively). In the degraded forest of Nanetehana, we randomly searched and flagged infested trees along main walking trails (27 infested trees recorded). In total, we recorded 171 infested trees in the three sites. Then, we selected mistletoe individuals or clusters of individuals in which > 75% of the plants were bearing fruits. Using this criterion with the 171 infested trees we recorded, 40 trees belonging mainly to the families of Lauraceae, Malvaceae, and Rubiaceae were included in our mistletoe observations.

## Observations of visiting frugivores

We conducted direct observations of fruiting mistletoe on 40 trees in February-March 2016, October-November 2018 and mid-January-mid-February 2019 (for a total of 111 days). For each host tree, mistletoe observations were alternated between three time periods (0600 – 1000 h, 1400 – 1800 h, 2000 – 2200 h) for a total of 988 observation hours. We observed 12 trees infested with fruiting *Bakerella clavata* var. *amplifolia* for a total of 414 hours, 9 trees with *B. clavata* var. *baronii* for 282 hours, 14 trees with *B. gonoclada* for 202 hours, 1 tree with *B. poissonii* subsp. *parvibracteata* for 50 hours, and 4 trees with *B. grisea* var. *grisea* for 40 hours. Observers were stationed at > 5 m away from each tree with the focal mistletoe plants; binoculars were used during the day and headlamps were used during night observations to detect and identify all animal visitors of the mistletoes. For visitors that fed on *Bakerella* fruits, we recorded the species identity (vernacular and/or scientific name), the time of arrival and departure, the behavior of consuming fruits, the number of fruits removed and/or the number of seeds swallowed by counting the number of exocarps of fruits dropped under the parent plant if the animals only consumed the seeds, and the time of defecation (when occurred). If more than one frugivore visitor was recorded, we randomly selected one individual as a focal individual to record observations on mistletoe frugivory. We recorded visitation duration in minutes and counted all visits up to one minute as a one-minute visit. We removed two mistletoe taxa from our analysis because of limited sample size as we observed only two individual birds of the Lesser Vasa Parrots *Coracopsis nigra* visiting *B. poissonii* subsp. *parvibracteata* and no frugivores visiting *B. grisea* var. *grisea*.

## Germination experiments of seeds

We performed a germination experiment of seeds defecated by the frugivores during the observation of their frugivory and also of hand-removed seeds from mature fruits for comparison. We collected seeds defecated by the frugivores under the trees with the focal mistletoe plants. In Vatoharanana, as we did not see any defecation event during the visits of the visitors, we searched fresh feces of frugivores containing *Bakerella* seeds within 25 m radius around each tree with the focal mistletoe plants. We identified the frugivore species source of the feces based on the characteristics of the feces with the help of research technicians who had extensive training in tropical research. We obtained 40 seeds of *Bakerella clavata* var. *amplifolia* from 40 different feces under four trees (approximately 10 seeds per tree) and found that all these seeds were defecated by the Brown Mouse Lemur *Microcebus rufus*. In Valohoaka, we noted defecation by some bird and lemur species during their visits. However, we did not get any seed from birds as the collection of the feces was challenging. On the other hand, we were able to collect 29 seeds of *Bakerella clavata* var. *amplifolia* from one dropping of the Greater Dwarf Lemur *Cheirogaleus major* under the tree it was feeding. We also collected 41 seeds manually depulped from mature fruits of three different plants of *B. clavata* var. *baronii*. We did not get any seed from frugivores in Nanetehana.

The seeds defecated by the Brown Mouse Lemur were planted on tree trunk whereas the seeds defecated by the Greater Dwarf Lemur and manually depulped seeds were planted in Petri dishes. Petri dishes were used to allow longer monitoring of seeds in labs when the fieldwork is over and they did not negatively affect the germination of seeds (Rödl & Ward, 2002; Green et al., 2009). By rubbing the tree trunk with sharp roc for better adhesion, we singly inoculated the 40 seeds defecated by the Brown Mouse Lemur at an average height 1.6 m (range: 1.0 to 3.1 m) on 40 randomly unparasitized trees belonging to 20 species and having DBH averaging 10.9 cm (range: 3.2 to 30.6 cm). These trees were localized at the vicinity of each focal tree. In separate Petri dishes placed under ambient temperatures, the seeds defecated by the Greater Dwarf Lemur and manually depulped seeds were set on filter paper with 1 cm spacing between seeds and wetted with distilled water weekly. All defecated and manually depulped seeds were monitored weekly, for two to eleven weeks, for their germination and the length of haustorium (the functional structure that penetrates the host xylem) and leaves of the germinated seeds.

## RESULTAT

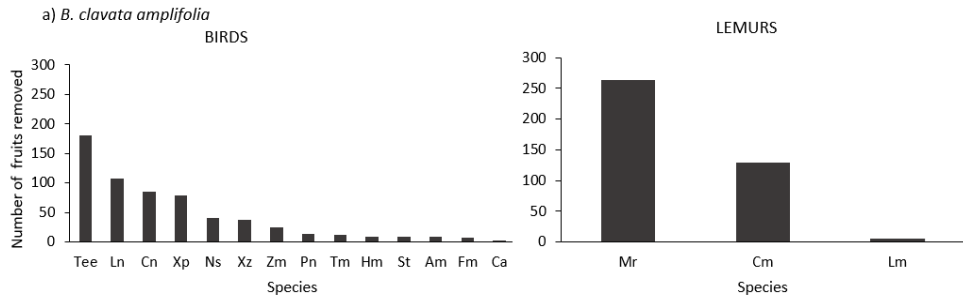
### Identification of potential seed dispersers and their length of visits

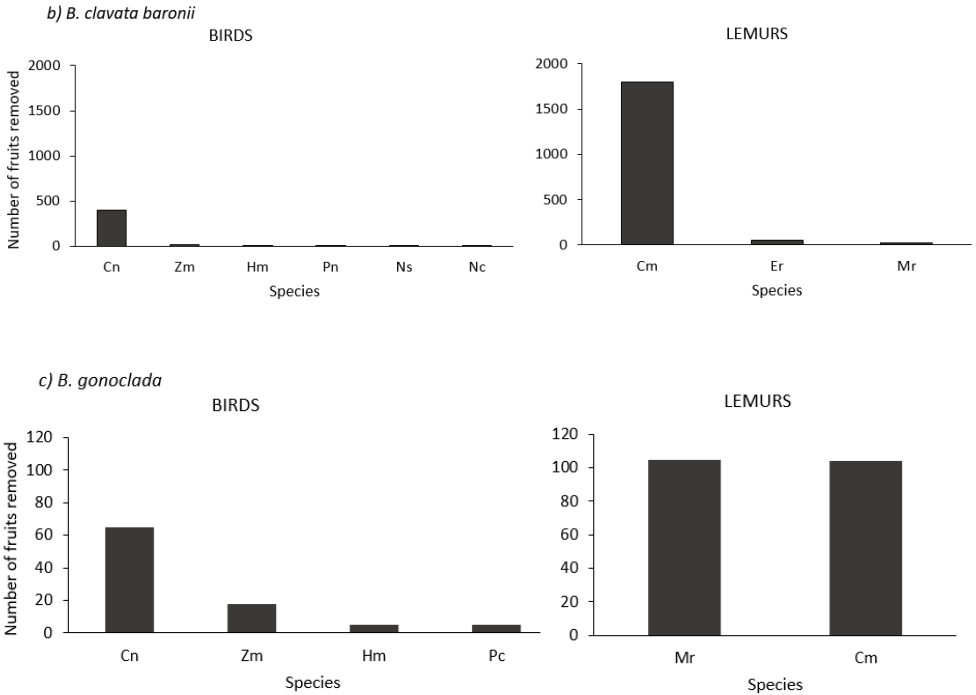
We observed diurnal and nocturnal visitors that consumed *Bakerella* fruits. Diurnal visitors included birds and lemurs while nocturnal visitors included only

lemurs. These bird and lemur species observed to consume mistletoe included 16 bird and 4 lemur species. The number of visitor species composing each *Bakerella* taxa was different although there were similar species. The number of bird and lemur species observed to consume the fruits of *Bakerella clavata* var. *amplifolia* included 14 bird and 3 lemur species, those of *B. clavata* var. *baronii* 6 bird and 3 lemur species, and those of *B. gonoclada* 4 bird and 2 lemur species. However, one of the *Bakerella* taxa was found exclusively in the degraded forest which may have influenced these differences in the number of visitor species between *Bakerella* taxa. When visiting *Bakerella* plants, birds spent shorter time visiting the plants than lemurs. Observations indicated 53.7% of the birds visited *Bakerella* less than one minute while only 19.7% of lemur consumers visited *Bakerella* less than one minute.

**Quantification of the fruit removal of mistletoe by birds and lemurs**

We recorded 141 occasions of consumption of *Bakerella* fruits by birds and lemurs, 68 occasions of fruit consumption of *Bakerella clavata* var. *amplifolia*, 54 of *Bakerella clavata* var. *baronii*, and 19 of *B. gonoclada*. All consumers swallowed whole *Bakerella* fruits except the Lesser Vasa Parrots *Coracopsis nigra* which either discarded the exocarps and swallowed the seeds or swallowed the whole fruits. The tendency of the quantity of fruits removed between the frugivore groups across *Bakerella* taxa varied. For *Bakerella clavata* var. *amplifolia*, the total number of fruits removed by birds was almost double that of lemurs (birds : 616 fruits vs. lemurs: 398 fruits); on the other hand, lemurs removed four-fold the fruits of *B. clavata* var. *baronii* than birds (lemurs : 1,877 fruits vs. birds : 433 fruits), and twice as many fruits of *B. gonoclada* than birds (lemurs : 209 fruits vs. birds : 93 fruits). Some consumer species noticeably removed more fruits than others (Figure 2). The Tylas Vangas *Tylas eduardi*, Madagascar Mannikin *Lonchura nana*, Lesser Vasa Parrots removed the 60% of all fruits removed by birds for *Bakerella clavata* var. *amplifolia*. The Lesser Vasa Parrots alone removed the 92% and the 70% of all fruits removed by birds for *B. clavata* var. *baronii* and *B. gonoclada*, respectively. The Greater Dwarf Lemurs and the Brown Mouse Lemurs removed more than 97% of all fruits removed by lemurs for the three taxa of *Bakerella*.





**Figure 2 :** Frugivore contribution to fruit removal observed for each *Bakerella* taxa

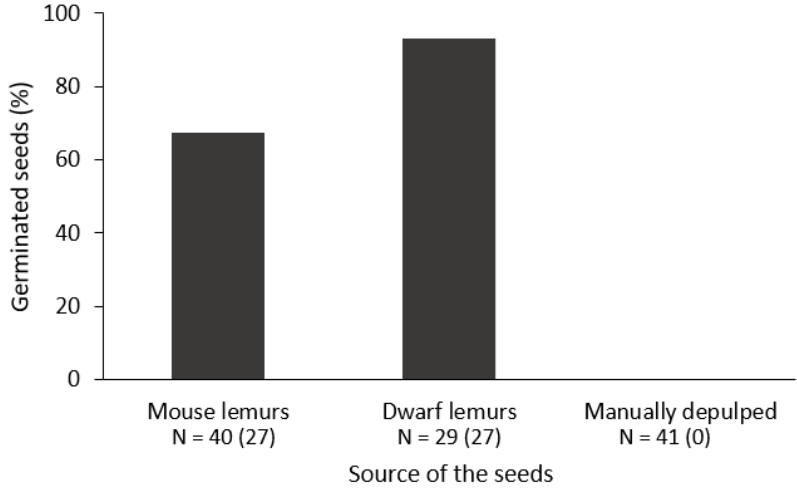
a) *B. clavata* var. *amplifolia* ; b) *B. clavata* var. *baronii* ; c) *B. gonoclada*.

The abbreviated name of the consumer species is alphabetically ordered as follow. BIRDS : Am = *Alectroenas madagascariensis*, Ca = *Copsychus albospectularis*, Cn = *Coracopsis nigra*, Fm = *Foudia madagascariensis*, Hm = *Hypsipetes madagascariensis*, Ln = *Lonchura nana*, Nc = *Neodrepanis coruscans*, Ns = *Nectarinia souimanga*, Pc = *Philepitta castanea*, Pn = *Ploceus nelicourvi*, St = *Saxicola torquata*, Tee = *Tylas eduardi eduardi*, Tm = *Terpsiphone mutata*, Xp = *Xenopirostris polleni*, Xz = *Xanthomixis zosterops*, Zm = *Zosterops maderaspatana*. LEMURS: Cm = *Cheirogaleus major*, Er = *Eulemur rufifrons*, Lm = *Lepilemur microdon*, Mr = *Microcebus rufus*.

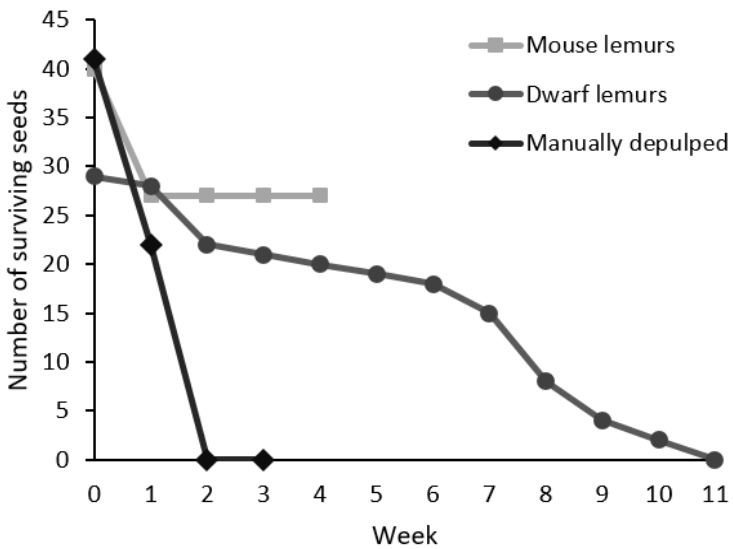
## Germination of seeds

The seeds defecated by the lemurs had higher germination percentages than seeds manually depulped from mature fruits (Figure 3). The percentages of germination of the seeds defecated by the Brown Mouse Lemurs and the Greater Dwarf Lemurs were 67.5% and 93.1%, respectively. All seeds manually depulped were moldy and thus none of them had germinated. The defecated seeds were germinated within one week indicated by the emergence of green haustorium. As we were able to monitor longer the seeds defecated by the Greater Dwarf Lemurs, results showed that the seeds had higher survival within the seven weeks of planting during which the haustorium

reached up to 12 mm long and touched the Petri dishes' floor (Figure 4). After this period, the survival of the germinated seeds drastically decreased corresponding to the non-establishment on a “real” host. A first pair of leaves appeared three weeks (range: two to six weeks) after planting, and their length reached up to 18 mm until the end of the experiment.



**Figure 3 :** Comparison of the germination percentages of *Bakerella clavata* seeds defecated by the lemurs and manually depulped seeds from mature fruits. The values *N* represents the total number of planted seeds and the total number of germinated seeds in brackets



**Figure 4 :** Survival rate of *Bakerella clavata* seeds defecated by the lemurs and manually depulped seeds from fruits

## DISCUSSION

Mistletoes in many terrestrial communities are keystone resources for vertebrates which rely on them in times of resource scarcity or in disturbed habitats (Watson, 2001, 2012); however, detailed information on the mutualistic interactions of mistletoes with frugivores which may act as their seed dispersers in tropical forests of Madagascar has been lacking. In the rainforests of Ranomafana National Park, we found that diverse frugivorous bird and lemur species consumed the fruits of *Bakerella clavata* var. *amplifolia*, *B. clavata* var. *baronii*, and *B. gonoclada*. The quantity of fruits removed by birds was almost double that by lemurs for *B. clavata* var. *amplifolia*, whereas the quantity of fruits removed by lemurs was four-fold and twice of that by birds for *B. clavata* var. *baronii* and *B. gonoclada*, respectively. The germination experiments of the two taxa of *Bakerella clavata* from lemurs' feces also demonstrate that lemurs have improved the germination and survival of *Bakerella* seeds. These findings highlight the potential roles of birds and lemurs to the dispersal of mistletoe in tropical forests of Madagascar.

A large number of species were the fruit consumers of the three taxa of *Bakerella* in Madagascar's rainforests. For avian diversity, the number of consumer species of the three taxa of *Bakerella* were sixteen in total which are more diverse than in other regions in the world with many sympatric species of mistletoe; for example, eight bird species consumed the fruits of five mistletoe species in South Africa (Godschalk, 1985), six bird species consumed the fruits of five mistletoe species in New Zealand (Ladley & Kelly, 1996), and five bird species consumed the fruits of two mistletoe species in Bolivia (Montano-Centellas, 2012). *Bakerella clavata* var. *amplifolia* had the highest number of consumer species among the three taxa although these taxa shared some consumer species. Fourteen bird species were the consumers of this *Bakerella* taxa alone, three of them (Lesser Vasa Parrot, Madagascar Bulbul, and Madagascar White-eye) were shared with the two other *Bakerella* taxa. However, *Bakerella gonoclada* was primarily found in the degraded forests of Nanetehana which is likely to affect the number of consumer species between the *Bakerella* taxa. The three *Bakerella* taxa also shared two nocturnal lemur species (Brown Mouse Lemurs and Greater Dwarf Lemurs) among the four lemur consumer species.

Lemurs removed more quantity of fruits than birds for both *B. clavata* var. *baronii* and *B. gonoclada* except for *B. clavata* var. *amplifolia* where birds removed more fruits than lemurs. The duration of visit of the consumers may affect their number of fruits removed. Lemurs tend to visit *Bakerella* plants longer than birds as only 20% of the visits of lemurs were < 1 min while more than half of the visits of birds were < 1 min. This tendency of staying shorter on mistletoe to consume its fruits is a common behavior of many bird species (Godschalk, 1985 ; Luo et al., 2016) resulting in fewer fruits removed. On the other hand, even though the duration of visits may impact the

number of fruits removed, the additivity of the fruits removed by numerous consumer species community including the insectivores composing *B. clavata* var. *amplifolia* could lead to the higher quantity of fruits removed by birds of this taxa. Therefore, the behavior of frugivores can result in fewer number offruits removed but which is reversed when there are several numbers of consumer species.

The defecated seeds had higher germination rates than the hand-removed seeds from mature fruits. This result supports other findings that frugivores can increase the germination success of mistletoe seeds (Soto-Gamboa & Bozinovic, 2002). Because the removal of exocarps is essential to trigger germination, in the field, frugivores provide the only form of mechanical and/or chemical removal of exocarps of mistletoe through the passage of the seeds in their gut (Ladley & Kelly, 1996). In this study, in addition to the removal of exocarps of *Bakerella* in the gut of frugivorous lemurs, the microbiome in the gut of these animals also may help seeds to get rid of fungal pathogens that inhibit the germination of the seeds.

## CONCLUSION

In conclusion, this study demonstrates that a diverse group of bird and primate consumers of mistletoe fruits are potentially mutualistic seed dispersers in tropical forests of Madagascar. Moreover, this study highlights that frugivorous lemur can enhance the germination of mistletoe seeds which is one of the stages in the seed dispersal process. However, more work is needed to examine deposition sites of seeds by the different frugivore groups onto the branches and trunks of host trees, a necessary step for mistletoe recruitment. Future studies should concern the effectiveness of the mutualistic animals interacting with mistletoes in their dispersal to avoid the extinction of many animal species and particularly the endangered larger-bodied frugivores (Schwitzer, et al., 2014).

## ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by Rice University and through The Rufford Small Grants No. 24483-1 to ZSEF. We thank the Ministère de l'Environnement et du Développement Durable and Madagascar National Parks for research permit. We also thank the staff of MICET and Centre ValBio for logistical support in the field. Special thanks to Benja Rakotonirina for the identification of mistletoe taxa. We are grateful to our research technicians and guides, Jean Claude Ramanandraibe (Manana), Néréé Beson, Jocelyn Mamiharilala, Auguste Pela, Jacques Donn  Ramanandraibe, Jean Guy Faustin Razafindraibe, Hoby Randriamahavonjy, Jacob Razafindrato for their valuable assistance in the field.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Amico, G., & Aizen, M. (2000). Mistletoe seed dispersal by a marsupial. *Nature*, 408, 929-930.
- 2) Atsalis, S. (1999). Diet of the brown mouse lemur (*Microcebus rufus*) in Ranomafana National Park, Madagascar. *International Journal of Primatology*, 20, 193-229.
- 3) Aukema, J. E., Martínez del Rio, C. (2002). Where does a fruit-eating bird deposit mistletoe seeds? Seed deposition patterns and an experiment. *Ecology*, 83, 3489-3496.
- 4) Davidar, P. (1983). Birds and neotropical mistletoes: effects on seedling recruitment. *Oecologia*, 60, 271-273.
- 5) Dunham, A. E., Erhart, E. M., & Wright, P. C. (2011). Global climate cycles and cyclones: consequences for rainfall patterns and lemur reproduction in southeastern Madagascar. *Global Change Biology*, 17(1), 219-227.
- 6) Dunham, A. E., Razafindratsima, O. H., Rakotonirina, P., & Wright, P. C. (2018). Fruiting phenology is linked to rainfall variability in a tropical rain forest. *Biotropica*, 50, 396-404.
- 7) Génin, F., & Rambeloarivony, H. (2018). Mouse lemurs (Primates: Cheirogaleidae) cultivate green fruit gardens. *Biological Journal of the Linnean Society*, 124, 607-620.
- 8) Godschalk, S. K. (1985). Feeding behaviour of avian dispersers of mistletoe fruit in the Loskop Dam Nature Reserve, South Africa. *S. Afr. J. Zool.*, 20, 136-146.
- 9) Green, A. K., Ward, W., & Griffiths, M. E. (2009). Directed dispersal of mistletoe (*Plicosepalus acaciae*) by Yellow-vented Bulbuls (*Pycnonotus xanthopygos*). *Journal of Ornithology*, 150, 167-173.
- 10) Irwin, M. T. (2008). Feeding ecology of *Propithecus diadema* in forest fragments and continuous forest. *International Journal of Primatology*, 29, 95-115.
- 11) Irwin, M. T., Raharison, J. L., Raubenheimer, D. R., Chapman, C. A., & Rothman, J. M. (2015). The nutritional geometry of resource scarcity: Effects of lean seasons and habitat disturbance on nutrient intakes and balancing in wild sifakas. *PloS One*, 10(6), e0128046.
- 12) Kuijt, J. (2003). Monograph of *Phoradendron* (Viscaceae). *Systematic Botany Monographs*, 66, 1-628.
- 13) Ladley, J., & Kelly, D. (1996). Dispersal, germination and survival of New Zealand mistletoes (Loranthaceae): dependence on birds. *New Zealand Journal of Ecology*, 20, 69-79.

- 14) Luo, Y., Sui, Y., Gan, J., & Zhang, L. (2016). Host compatibility interacts with seed dispersal to determine small-scale distribution of a mistletoe in Xishuangbanna, Southwest China. *Journal of Plant Ecology*, 9(1), 77-86.
- 15) Mathiasen, R. L., Nickrent, D. L., Shaw, D. C., & Watson, D. M. (2008). Mistletoes: Pathology, systematics, ecology, and management. *Plant Disease*, 92(7), 988-1006.
- 16) Montano-Centellas, F. A. (2012). Effectiveness of mistletoe seed dispersal by Tyrant Flycatchers in a Mixed Andean landscape. *Biotropica*, 0, 1-8.
- 17) Okubamichael, D. Y., Rasheed, M. Z., Griffiths, M. E., & Ward, D. (2011). Avian consumption and seed germination of the hemiparasitic mistletoe *Agelanthus natalitius* (Loranthaceae). *Journal of Ornithology*, 152, 643-649.
- 18) Ramananjato, V., Rakotomalala, Z., Park, D. S., DeSisto, C. M., Raelinjanakolona, N. N., Guthrie, N. K., et al. (2020). The role of nocturnal omnivorous lemurs as seed dispersers in Malagasy rain forests. *Biotropica*, 0, 1-8.
- 19) Razafindratsima, O. H., Jones, T. A., & Dunham, A. E. (2014). Patterns of movement and seed dispersal by three lemur species. *American Journal of Primatology*, 76, 84-96.
- 20) Razafindratsita, V., & Zack, S. (2009). Frugivory and facilitation of seed germination by the Velvet Asity, *Philepitta castanea* (Müller, 1776), in the rainforest understory of Ranomafana National Park, Madagascar. *Malagasy Nature*, 2, 154-159.
- 21) Reid, N. (1989). Dispersal of mistletoes by honeyeaters and flowerpeckers: components of seed dispersal quality. *Ecology*, 70, 137-145.
- 22) Reid, N., Stafford, S. M., Yan, Z. (1995). Ecology and population biology of mistletoes. In M. D. Lowman, & N. M. Nadkarni (eds.), *Forest Canopies* (pp.285-310). San Diego, CA: Academic Press.
- 23) Rödl, T., & Ward, D. (2002). Host recognition in a desert mistletoe: early stages of development are influenced by substrate and host origin. *Functional Ecology*, 16, 128-134.
- 24) Schwitzer, C., Mittermeier, R. A., Johnson, S., Donati, G., Irwin, M. T., Peacock, H., et al. (2014). Averting lemur extinction amid Madagascar's political crisis. *Science*, 343, 842-843.
- 25) Soto-Gamboa, M., & Bozinovic, F. (2002). Fruit-disperser interaction in a mistletoe-bird system: a comparison of two mechanisms of fruit processing on seed germination. *Plant Ecology*, 159, 171-174.
- 26) Watson, D. M. (2001). Mistletoe – a keystone resource in forests and woodlands worldwide. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32, 219-249.

- 27) Watson, D. M. (2012). The relative contribution of specialists and generalists to mistletoe dispersal: Insights from a Neotropical rain forest. *Biotropica*, 45, 195-202.
- 28) Wright, P. C., & Andriamihaja, B. (2002). Making a rain forest national park work in Madagascar: Ranomafana National Park and its long-term research commitment. In J. Terborgh, C. P. van Schaik, L. Davenport, & M. R. (eds.), *Making parks work: Strategies for preserving tropical nature* (pp. 112-136). Washington, DC: Island Press.
- 29) Wright, P. C., Erhart, E. M., Tecot, S., Baden, A. L., Arrigo-Nelson, S. J., Herrera, J., et al. (2012). Long-term lemur research at Centre Valbio, Ranomafana National Park, Madagascar. In P. M. Kappeler, & D. P. (eds.), *Long-term field studies of primates* (pp. 67-100). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.



# SELECTION PARTICIPATIVE ET DECENTRALISEE DE LIGNEES DE RIZ PLUVIAL SUR LES HAUTES TERRES DE MADAGASCAR. CAS DE LA REGION DE VAKINANKARATRA

par

RAMANITRINIZAKA Faniolo<sup>(1)</sup>, RAMAMONJISOA Lolona<sup>(1)</sup>, TEMPLE Ludovic<sup>(2,3)</sup>, GOZE Eric<sup>(4,5)</sup>, CAO Tuong-Vi<sup>(6,7)</sup>, RAMANANTSOANIRINA Alain<sup>(8)</sup>, RABEKIJANA Ravo<sup>(9)</sup>, VOM Brocke Kirsten<sup>(6,7)</sup>

- (1) Ecole Doctorale Gestion des Ressources Naturelles et Développement, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), Université d'Antananarivo, Madagascar
- (2) Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement-Unité de Mixte de Recherche (CIRAD UMR) Innovation, F-34398 Montpellier, France
- (3) Innovation, Université de Montpellier, CIRAD, Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE), Institut Agro, Montpellier, France
- (4) CIRAD, Unité Propre de Recherche-Agroécologie et Intensification Durable de cultures annuelles (UPR AIDA), F-34398 Montpellier, France
- (5) AIDA, Université de Montpellier, CIRAD, Montpellier, France
- (6) CIRAD, UMR Amélioration Génétique et Adaptation des Plantes méditerranéennes et tropicales (AGAP), F-34398 Montpellier, France
- (7) AGAP, Université de Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France
- (8) Centre Régional de Recherche-FOibe Fikarohana momba ny Fampandrosoana ny Ambanivohitra (CRR FOFIFA), BP 230 Antsirabe 110, Madagascar
- (9) Dispositif en Partenariat Système de Production d'Altitude et Durable (DP Spad), BP 230 Antsirabe 110, Madagascar

## RESUME

La riziculture pluviale a pris sa place dans la production rizicole de Madagascar où la riziculture irriguée traditionnelle ne suffit plus à satisfaire les besoins de la population en croissance exponentielle. Dans la région du Vakinankaratra, un programme d'amélioration variétale de riz pluvial d'altitude a été mis en place depuis 1980 pour identifier les variétés adaptées au climat tropical d'altitude de la région. La présente étude se propose d'appliquer une approche participative décentralisée de la sélection variétale pour améliorer l'efficacité de ce programme. Les objectifs sont de sélectionner des variétés les mieux adaptées aux conditions climatiques locales et aux modalités des agriculteurs et d'identifier les critères de sélection des variétés par les agriculteurs. Cette sélection cible 50 descendances de riz pluvial dans un essai en station de recherche et en essai multilocal dans deux communes de la région du Vakinankaratra où chaque commune considère cinq sites paysans. Une évaluation participative des lignées a également été menée avec les agriculteurs pour identifier

les critères de choix de variété. Les résultats ont montré un gain de rendement par rapport au témoin *Chhomrong Dhan*, la variété fétiche de la région, pour 14 lignées. Les évaluations participatives menées ont permis d'identifier plusieurs critères de choix de variétés par les agriculteurs, ils sont liés à la productivité, à la durée du cycle ou à l'architecture de la plante comme la longueur des tiges et des panicules. Les résultats des évaluations ont permis aux chercheurs et aux agriculteurs de faire un choix préliminaire de 25 lignées. Ces résultats démontrent l'importance du travail collaboratif entre chercheurs et agriculteurs.

**Mots clés :** Agriculteurs, Recherche participative, Innovation variétale, Riz pluvial, Madagascar

## **ABSTRACT**

Rainfed rice has taken its place in rice production in Madagascar where traditional irrigated rice cultivation no longer meets the needs of the exponentially growing population. In the region of Vakinankaratra, a varietal improvement program for upland rice has been implemented to identify varieties adapted to the high altitude tropical climate of the region since 1980. This study proposes to apply a participatory and decentralized breeding approach in order to improve the effectiveness of the breeding program. The objectives are (1) to select lines that are better adapted to local climatic conditions and farmers' modalities to optimize their adoption by farmers; and (2) identify farmers' criteria for choosing a variety. The study, which has been carried out in the Vakinankaratra region, assesses a selection of 50 upland rice lines in a series of multi-locational trials in two communes where each commune hosted five farmer sites and in a research station trial. A participatory evaluation of the lines was also carried out with farmers to identify their selection criteria for a variety. The results showed a yield gain for 14 lines compared to the control variety *Chhomrong Dhan*, the region's fetish variety. Participatory evaluations conducted with farmers identified several criteria for farmers' choice of varieties, related to productivity and cycle length as well as plant architecture, such as stem and panicle length. The results of the trials and evaluations enabled researchers and farmers to select 25 lines. These results demonstrate the importance of collaborative work between researchers and farmers.

**Key words :** Farmers, Participatory Research, Varietal Innovation, Rainfed Rice, Madagascar

## **Fintina**

Mitana toerana manan-danja eo amin'ny sehatry ny fambolena ny vary an-tanety eto Madagasikara, manoloana ny tsy fahampian'ny famokarana azo avyamin'ny vary an-drano noho ny filàn'ny vahoaka Malagasy izay tsy mitsaha-mitombo. Any amin'ny faritr'I Vakinankaratra dia misy ny tetikasa fanatsarana vary an-tanety izay mikaroka ireo karazana vary mahazaka ny toetrandro eo an-toerana nanomboka ny taona 1980.

Mba hanatsarana ny vokatr'izany tetikasa izany, ity fikarohana ity dia miompana bebe kokoa amin'ny fifantenana iarahan'ny mpikaroka sy ny tantsaha atao. Ny tanjona dia (1) hifantina ireo karazam-bary mifananaraka amin'ny toetrandro sy ny fahafahan'ny tantsaha mba ahafahana manamora ny fandraisan'izy ireo izany vokam-pikarohana izany sy (2) hamantatra ny fepetra takiann'y tantsaha amin'ny karazam-bary tiany volena. Karazam-bary 50 no no fantenana tao amin'ny kaomina roa amin'ny faritra Vakinankaratra ka mpamboly dimy isaky ny kaomina no nandray izany. Nisy ihany koa ny fanombanana ny fepetra tena ilain'ireo mpamboly momba nykarazam-bary amin'ny alàlan'ny fiaraha-miasa akaiky eo amin'ireo tantsaha sy ny mpikaroka. Hita tamin'ny valin'ny fikarohana ary fa karazany 14 no namokatra kokoa noho ny vary "Tsipolitra" na *Chhomrong Dhan*, izay karazany tena be mpamboly indrindra eto amin'ny faritra. Ny fanombanana natao dia nahafahana namantatra fepetra maro amin'ny safidin'ny tantsaha izay karazam-bary tiany ambolena, ao anatin'izany nyfahavokarany, ny halavan'ny tahony sy salohiny, sy ny halavan'ny tsingerim-paniry; ary nahafahana nifidy karazany 25 izany. Ireov alim-pikarohana ireo dia mampiseho ny maha-zava-dehibe ny asa iarahan'ny mpikaroka sy ny tantsaha atao.

**Teny iditra** : Tantsaha, Fikarohana iarahana, Fanavaozana, Vary an-tanety, Madagasikara

## INTRODUCTION

Madagascar est un des plus gros consommateurs de riz au monde (UPDR/FAO/CIRAD, 2000), avec une consommation moyenne annuelle par habitant estimée à 118 kg en milieu urbain et à 138 kg en milieu rural (Raboin et *al.*, 2013). La production nationale de riz paddy est estimée à 4 191 000 tonnes en 2016 (Min Agri, 2016), dont 36 % sont assurés par les Hautes Terres centrales, mais face à l'exponentielle croissance démographique, de l'ordre de 2,7% par an, que connaît le pays (INSTAT, 2019), la production de la riziculture irriguée seule ne suffit plus pour approvisionner quantitativement les besoins de la population malgache. Par ailleurs, la quasi-saturation des bas-fonds, due aux morcellements successifs des parcelles paysannes, ne permet plus d'étendre les superficies cultivées. Cependant, l'écosystème de « tanety » (versant des collines) offre encore des potentialités au développement de la riziculture pluviale vis-à-vis des ressources foncières encore mobilisables et au regard des fonctionnalités des espaces naturels encore disponibles. Depuis le début des années 2000, ce potentiel est de plus en plus exploité par les agriculteurs de la région Vakinankaratra en relation principalement avec la création/diffusion de variétés de riz pluvial adaptées en altitude par le FOFIFA et ses partenaires (Ahmadi, 2004 ; Raboin et *al.*, 2013). En effet, pour appuyer cette production, le FOFIFA, le CIRAD et l'Université d'Antananarivo travaillent, à travers un programme d'amélioration variétale de riz pluvial, pour créer de nouvelles variétés

capables de répondre aux spécificités des écosystèmes incluant les contraintes socio-économiques des agriculteurs. Aujourd'hui, une grande proportion des agriculteurs des Hautes Terres, dont 80% dans la région du Vakinankaratra, pratique la riziculture pluviale en complément de la riziculture de bas-fond (Raboin et *al.*, 2014). Cependant, le portefeuille variétal des producteurs porte sur un nombre limité de variétés et dans les Hautes Terres du Vakinankaratra, 80% des superficies en riz pluvial sont emblavées avec une même variété *Chhomrong Dhan* (Radanielina, 2010). Il s'agit d'une variété d'origine népalaise reconnue pour sa bonne rusticité et est adaptée à l'agriculture familiale de subsistance de la région qui est caractérisée par une grande hétérogénéité de conditions de production comme le faible accès aux terres fertiles et aux intrants chimiques.

Le programme d'amélioration variétale de riz pluvial d'altitude à Madagascar est conduit à la station de sélection à Andranomanelatra selon une démarche centralisée. La diversité variétale proposée aux agriculteurs est donc théoriquement limitée puisque les lignées arrivent dans les parcelles paysannes à la fin du processus de sélection (petit nombre de lignées en stade F9 quasi-fixées). Pour améliorer l'efficacité du programme, la recherche s'est basée sur une conception participative et décentralisée de la sélection variétale.

La « participation », longtemps cantonnée comme un moyen pour la recherche d'accroître son efficacité, tend aujourd'hui à structurer un champ de recherches interdisciplinaires spécifiques autour des « sciences participatives ». Elle peut désigner de nombreuses significations. Une approche participative, quelle que soit sa définition, implique des relations entre membres d'une communauté, ou entre des membres d'une communauté et institutions, qu'elles soient étatiques, pour la recherche ou autre (Nelson et Wright, 1995, Temple et *al.*, 2006). La participation peut être une méthode pour accomplir un but plus efficacement, comme elle peut être une fin en soi. Elle peut induire des opportunités de changements (Oakley et Marsden, 1984) dans la société pour faciliter la réalisation d'intervention externe, trouver des terrains d'entente entre les participants pour refléter plus correctement les besoins locaux, les aspirations et les contraintes existantes. Elle intervient avec des fonctionnalités différentes selon la posture de recherche adoptée : expérimentale, intervention, action (Faure et *al.*, 2010).

L'expérience montre que les sélectionneurs n'ont pas toujours réussi à produire un matériel génétique conforme aux attentes des utilisateurs (Lançon et Hocde, 2006), d'où leur réticence à l'adoption ou bien parfois le caractère éphémère des cas d'adoption dans le temps. En effet, un décalage entre la tendance conventionnelle d'une recherche « descendante » et les potentialités basées sur les savoirs d'usage des agriculteurs a été observé. Les démarches de la sélection participative se sont ainsi développées à la suite des travaux pionniers de l'équipe de Sperling et *al.* (1993) sur

le haricot en Afrique de l'Est, de Witcombe et *al.* (1996) sur le riz au Népal, de Ceccarelli et *al.* (2001) et au Moyen-Orient sur l'orge (Bonneuil et Demeulenaere, 2007). Dans l'acceptation mobilisée, la sélection variétale participative a pour objet de co-construire avec les agriculteurs les connaissances relatives à l'identification des variétés les mieux adaptées mais aussi les mécanismes, dispositifs qui vont permettre d'évaluer cette adaptation. Les agriculteurs ne jouent plus seulement un rôle auxiliaire en tant que bénéficiaires des résultats mais deviennent des partenaires à part entière de l'activité de recherche (ADRAO, 2009, Vom Brocke et *al.*, 2020) et de manière plus globale d'un processus d'innovation variétale collaboratif.

L'étude est donc conduite dans le cadre d'une réorientation du programme d'amélioration de riz pluvial vers une approche plus décentralisée et participative dans le but de développer des variétés adaptées aux contraintes des agriculteurs de la zone des Hautes Terres et respecter leur préférence. L'objectif est de comparer 50 nouvelles lignées au stade F2,6 pour leur performance agronomique dans un contexte multilocal et leur gain de productivité par rapport au témoin *Chhomrong Dhan* et d'identifier parmi elles, les variétés les plus acceptées par les agriculteurs au regard des conditions socio-économiques qui structurent leurs usages (accès aux intrants, systèmes de cultures, etc) et leurs préférences. Elle repose pour cela sur l'intégration des producteurs dans le processus de sélection et d'évaluation des variétés *Chhomrong Dhan* et l'évaluation participative des critères de sélection variétale pour les agriculteurs.

## **MATERIELS ET METHODES**

### **Matériel génétique**

L'étude s'est concentrée sur 50 lignées de riz pluvial d'altitude (*oryzasativa*) en stade F2.6. Elles sont issues de 13 croisements biparentaux de lignées de riz pluvial, principalement du groupe variétal japonica. Les 50 lignées ont été sélectionnées parmi 200 lignées en stade F2.4 sur la base de leur performance agronomique en station et chez un agriculteur lors d'une précédente saison de sélection (2017-2018), ainsi que sur les analyses génétiques essentiellement pour s'assurer de la représentabilité des 13 croisements parentaux dans la liste des lignées sélectionnées, et les choix des agriculteurs à la suite d'une précédente évaluation participative en 2019.

### **Site d'expérimentation**

L'expérimentation a été menée dans les communes rurales d'Andranomanelatra et Ambohimiarivo (district Antsirabe II, région Vakinankaratra). La zone d'expérimentation correspond à l'environnement cible du programme d'amélioration variétale SCRID (Systèmes de production d'altitude et durabilité), notamment au niveau de l'altitude qui se situe entre 1500 m et 1800 m, l'expérimentation s'étant

déroulée entre 1563 et 1620 m d'altitude. Elle concerne deux milieux : la station et le milieu réel (chez les agriculteurs).

Le choix du terrain chez les agriculteurs repose sur le fait que les caractéristiques démographiques et agricoles des deux communes répondent aux problématiques générales du développement à Madagascar : une forte démographie créant un besoin en riz croissant, une quasi-saturation de la surface cultivable des bas-fonds et une fertilité des terres de tanety limitée (Rakotofiringa et *al.*, 2007). Les caractéristiques de la zone sont ainsi représentatives des réalités agricoles des Hauts plateaux de Madagascar. Le dispositif en milieu paysan a été installé de façon à respecter les ressources des agriculteurs en intrants, ainsi une dose moyenne de fumier de 5T/ha fournit par chaque producteur a été utilisée pour ces essais. Les disponibilités foncières des agriculteurs ayant été limitées, des dispositifs multilocaux ont été adoptés pour accueillir toutes les lignées. Ces essais ont donc été conduits sur dix sites paysans, à raison de cinq sites par commune suivant un dispositif en blocs dispersés partiellement répété. Il s'agit d'un dispositif où chaque site accueille seulement une partie des lignées mais où à terme, une commune aura accueilli l'ensemble des lignées (Williams et *al.*, 2010). Ainsi un site accueille 21 lignées et une variété témoin (*Chhomrong Dhan*), avec une superficie moyenne de 10m<sup>2</sup> par parcelle. Chaque lignée est répétée deux à trois fois dans chaque zone, et donc quatre à cinq fois sur l'ensemble du dispositif en milieu paysan. Ce type de dispositif permet de tester un nombre élevé de lignées (Patterson et Williams, 1976) mais aussi de réduire la surface demandée sur chaque localité. L'essai en station a concerné un dispositif en condition de fertilisation organique (5T/ha de fumier) suivant un alpha-plan en trois répétitions avec une dimension parcellaire de 2.4m<sup>2</sup>. Le tableau 1 présente les caractéristiques des sites d'expérimentation.

Pour pouvoir suivre l'évolution des plantes et noter leur performance, des observations agro-morphologiques et phénologique sont été effectuées durant les différentes étapes de leur croissance. Ces observation sont notamment concerné (i) la levée : la vigueur à la levée (VL) exprimée en score, le nombre de poquet à la levée (NPL) exprimé en nombre, les dégâts des vers blancs (VB) exprimés en score et les dégâts des adventices (A) exprimés en score; (ii) à la floraison : la hauteur des plants (HP) exprimée en cm, la longueur des panicules (LPAN) exprimée en cm et la verse (VE) notée en score, (iii) à la récolte : le nombre de poquets récoltés (NPR) exprimé en nombre, le poids des graines (PGR) exprimé en g/parcelle. Pour les caractères non mesurables, un système de scoring a été adopté où chaque parcelle a été notée de 1 à 5 selon leur état, où la note de 1 correspondant au meilleur état (Tableau 1).

**Tableau 6:** Caractéristiques des sites d’expérimentation en station et les dix sites paysans des deux communes

Zone	Site	Précédant cultural		Surface par parcelle élémentaire	Qté FU (t/ha)	Type de sol	Nombre de sarclage
		n-2	n-1				
Andranomanelatra	Site 1	Riz	Riz	7,8	5,95	Ferrallitique rouge	3
	Site 2	Riz	Maïs	6,4	6,44	Ferrallitique rouge	3
	Site 3	Patate douce	Haricot	8,0	5,80	Ferrallitique rouge	3
	Site 4	Pois	Riz	7,2	5,87	Ferrallitique brun	3
	Site 5	Jachère	Tomate	11,0	5,73	Ferrallitique brun	1
Ambohimiarivo	Site 1	Haricot	Maïs	18,0	5,36	Ferrallitique rouge	2
	Site 2	Maïs	Riz	7,6	5,21	Ferrallitique rouge	1
	Site 3	Tomate	Riz	16,0	5,21	Ferrallitique brun	2
	Site 4	Maïs	Soja	11,2	6,10	Ferrallitique rouge	2
	Site 5	Riz	Tomate	11,0	5,73	Ferrallitique brun	2
Station		Riz	Soja	2,4	5	Ferrallitique rouge	3

### Implication des producteurs dans l’évaluation et la sélection des lignées

La recherche participative s’est traduite par une collaboration entre chercheurs et agriculteurs. L’implication des agriculteurs dans le processus englobe deux objectifs (1) choisir les variétés selon leur préférence et (2) orienter les chercheurs dans le développement de variétés plus pertinentes selon ces préférences. Les besoins, contraintes et préférences des agriculteurs sont traduits en critères de sélection pour orienter le programme d’amélioration. Au moment de la maturité des lignées, des évaluations ont été organisées avec chaque agriculteur individuellement dans leurs essais. Dans un premier temps, il a été demandé à l’agriculteur, à partir de questions semi-directives, quels sont les critères de choix d’une nouvelle variété. La deuxième étape de l’évaluation a consisté à apprécier, de manière individuelle, chaque parcelle, et donc un vote des variétés qu’ils sélectionneraient d’après ces critères. Basée sur les réponses, une liste des critères et leurs définitions a été établie.

## Analyse des données

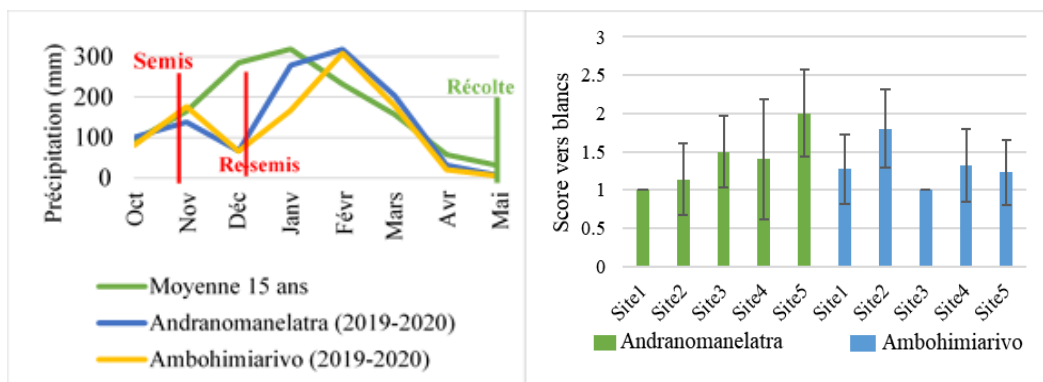
Les analyses statistiques des données agronomiques recueillies ont été faites avec le logiciel R et vérifiées avec le logiciel SAS. Il a été question d'analyse de la variance et d'ajustement des moyennes à l'aide d'un modèle mixte linéaire où la lignée a été considérée comme facteur fixe, et le site (parcelle et bloc) comme facteur aléatoire.

Pour l'analyse des données obtenues lors des évaluations participatives, la fréquence d'un critère cité par les agriculteurs a été exprimée en pourcentage. La fréquence de réponses par critère et leurs appréciations ont permis de déduire l'importance du critère.

## RESULTAT

### Conditions et qualité des essais en milieu paysan

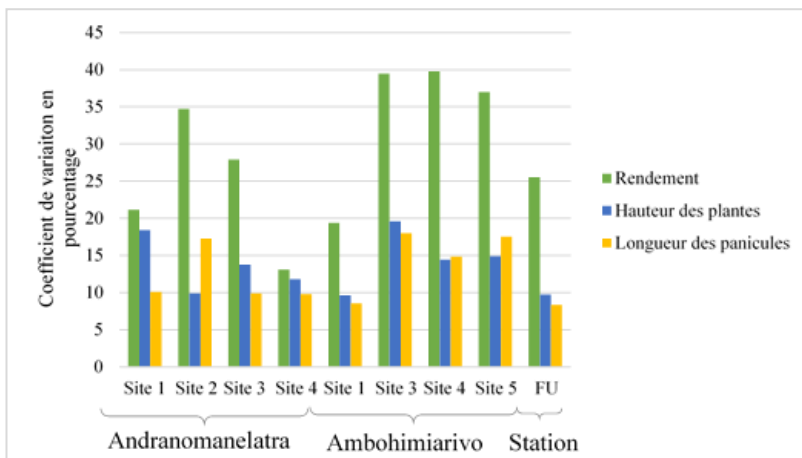
La campagne 2019-2020 était, en général, plus sèche que la moyenne des 15 dernières années (figure 1). Une diminution particulière de la pluviométrie est constatée entre le mois d'Octobre et Novembre, cette période correspond au début de la campagne de culture. Un re-semis sur tous les essais a dû être effectué pour sauver le dispositif en Décembre 2019, à la reprise des pluies. Mais les conditions sèches ont favorisé le développement des vers blancs sur certains sites (figure 2). Le score maximal des vers blancs est davantage marqué sur le site 5 d'Andranomanelatra et le site 2 d'Ambohimiarivo. Les scores moyens des deux sites sont respectivement de 2 et 1.8, ce qui correspond à des dégâts de 30 à 40 % sur les parcelles. Ces attaques de vers blancs, ainsi que les problèmes liés aux mauvaises herbes (sarclages tardifs) ont engendré des dégâts considérables sur le site 5 d'Andranomanelatra et le site 2 d'Ambohimiarivo, causant la perte des données sur ces sites. Ainsi, les données analysées concernent 8 sites paysans au lieu de 10.



**Figure 1** : Pluviométrie de la région durant la campagne culturale

**Figure 2** : Score moyen obtenu par les sites sur les sites paysans suite aux attaques des vers blancs

Les CVs des rendements sont en général plus élevés par rapport à ceux des autres variables (hauteur des plantes, longueur des panicules) que ce soit en condition d'expérimentation paysanne ou en condition de station (figure 3). Le coefficient de variation en milieu paysan est entre 12 à 37% pour le rendement, 9 à 20% pour la hauteur des plantes et 8 à 18% pour la longueur des panicules. Ce coefficient est plus faible en station avec 25% pour le rendement, 10% pour la hauteur des plantes et 8% pour la longueur des panicules.



**Figure 5** : Coefficient de variation des données pour trois caractères agronomiques des essais chez les agriculteurs (site 1 à 5 et à la station de sélection)

### Performance des lignées dans les conditions réelles par rapport aux conditions en station

Les analyses des variances (tableau 2) ont montré une influence significative des lignées sur les caractères rendement, longueur des panicules et hauteur des plantes en condition paysanne (p-value respectivement 0.009, 0.04 et <.0001) et en condition de station (p-value respectivement 0.04, <.0001 et 0.003). Le rendement moyen des lignées en condition réelle est supérieur à celui en condition de station (tableau 3). La lignée la plus productive en station (SCRID 433-52) n'est pas la meilleure en condition paysanne (avec une production de 2.35T/ha en condition paysanne) où la plus performante est SCRID 441-50 (avec une production de 2.08T/ha en condition de station). La lignée SCRID 447-58 ayant eu un bon rendement en station (2.68T/ha) a eu le plus faible rendement en condition réelle.

**Tableau 7** : Analyse des variances des données en fonction de la lignée par caractère

Caractère	MP		Station	
	Valeur de F	Pr>F	Valeur de F	Pr>F
Rendement	1,85	0,0092	1,54	0,0379
Longueur des panicules	1,98	0,0049	3,9	<,0001
Hauteur des plantes	2,79	<,0001	1,93	0,003

**Tableau 8** : Résumé des rendements des lignées

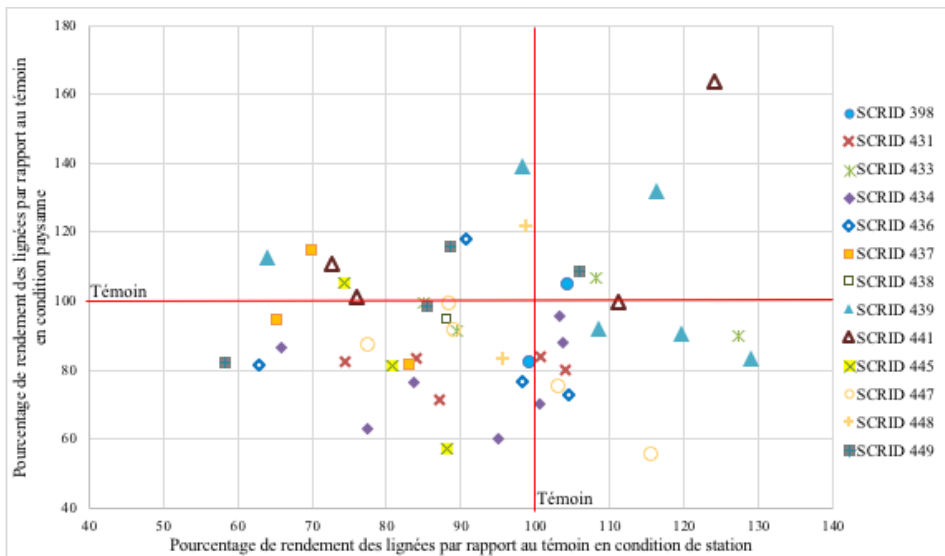
	Milieu paysan	Station
Moyenne (T/ha)	2,23 ±0,86	2,19 ±0,49
Maximum (T/ha)	3,51 : SCRID 441-50	3,07 : SCRID 433-52
Minimum (T/ha)	1,44 : SCRID 447-58	1,28 : SCRID 449-19

### Gain de rendement obtenu des lignées par rapport à la production du témoin

En condition paysanne, quatorze lignées : SCRID 398-7, SCRID 433-52, SCRID 436-45, SCRID 437-30, SCRID 439-18, SCRID 439-22, SCRID 439-23, SCRID 441-47, SCRID 441-50, SCRID 441-79, SCRID 445-22, SCRID 448-5, SCRID 449-5 et SCRID 449-7 ont montré un gain de rendement par rapport à la variété témoin *Chhomrong Dhan* (2.32T/ha) entre en moyenne 101 et 168% (Figure 4). En condition de station, 17 lignées ont surpassé la production du témoin. La partie en haut à droite de la figure 4 montre les lignées plus productives que le témoin en condition paysanne et en station, elles sont issues de cinq croisements parentaux, parmi les 13 initiaux. La corrélation entre les performances en conditions paysannes et en station est faible ( $r=0,18$ ).

### Critères de sélection des variétés par les agriculteurs

Au total, les agricultures ont mentionné 15 caractéristiques variétales importantes pour l'adaptation d'une nouvelle variété selon leur intérêt qui sont axés sur des raisons économiques, l'adaptation aux systèmes et habitudes de transformation locaux et aux préférences culinaires (Tableau 4). Le caractère de poids grain a été mentionné le plus souvent par plus que 30% des participants suivi-par les caractères liés aux panicules, la hauteur de la plante, sa forme et la couleur des grains.



**Figure 6 :** Pourcentage de gain de rendement moyen des lignées par rapport au *Chhomrong Dhan* en condition de milieu des agriculteurs et à la station. Les différents symboles représentent les lignées issues d'un même croisement

**Tableau 9 :** Critères de sélection d'une lignée selon les agriculteurs

Réponses données par les agriculteurs	Traduction en critère de sélection	Intérêt pour les agriculteurs	Définition d'une bonne appréciation	% de réponses	
Poids des grains par parcelle	Rendement	Détermine la capacité de la variété à satisfaire des besoins financiers/ alimentaires	Au moins 1,5 T/ha de rendement	32,4	
Panicule sur les plantes	Longueur	Détermine la productivité de la variété	20 cm	5,8	17,8
	Nombre		Une dizaine	0,8	
	Fertilité		Pas de grains vides	11,2	
Hauteur de la plante	Hauteur de la tige	Détermine la facilité au battage	Plus de 80cm	16,3	
Densité de la touffe	Capacité de tallage	Détermine la productivité de la variété	Plus de 5 talles par plante	10,8	

Forme des grains	Caractéristiques des grains	Détermine la facilité au décorticage et la quantité de grains par « kapoaka »	Long et rond	6,6	9,7
Couleur des grains		Détermine la propreté/richesse en éléments nutritifs du riz	Blanc, rouge	3,1	
Durée de la période de culture	Nombre de jours entre le semis et la maturation	Détermine la capacité de la variété à répondre aux besoins urgents	Moins de 6 mois	6,6	
Adaptation à la terre	Adaptation au sol	Détermine la capacité de la variété à répondre aux conditions du sol	Pas de signe de déficience nutritionnelle	5	
Nombre de poquets vides	Proportion de manquants	Détermine la capacité de production de la variété	Pas de manquant	4,2	
Recourbement des tiges à maturité	Résistance à la verse	Détermine la capacité de la variété à produire malgré les conditions	Pas de signe de verse	1,5	
Pas d'assèchement durant les périodes sèches	Résistance à la sécheresse		Pas de signe de jaunissement, fanage	1,2	
Pas d'affaiblissement dû vers blancs	Résistance/ Tolérance aux vers blancs		Moins de 15% de dégâts	1,2	
Pas de signe de maladie	Résistance aux maladies		Pas de signe de verse	1,2	
Pas d'affaiblissement dû aux mauvaises herbes	Compétitivité/ Vigueur		Pas de dégâts de mauvaises herbes	0,4	
Pas de difficulté à séparer les grains des panicules	Facilité de battage	Détermine l'énergie qu'il faut dépenser lors du battage	Le moins d'effort possible à faire lors du battage	0,4	

## Choix participatif des lignées expérimentées

Après analyse des résultats agronomiques, en accord avec les sélections des agriculteurs, 25 lignées ont été sélectionnées parmi les 50 pour être reconduites dans la suite de l'étude. Ces 25 lignées ont obtenu 50 à 100% des votes des agriculteurs lors des évaluations. La corrélation entre ce vote et les rendements des lignées chez les agriculteurs est forte ( $r=0,68$ ). Parmi ces lignées, huit sont plus productives que le témoin (2.50 à 3.51T/ha) et 17 ont une production avoisinante celle du témoin (1.76 à 2.50 T/ha). Certaines lignées sont donc moins productives mais présentent une longueur appréciable des tiges (62 à 108cm de hauteur), et des panicules (13 à 20cm de longueur). Les agriculteurs ont également choisi ces lignées, non seulement pour leur production, mais aussi pour la caractéristique de leur grain (gros grain, grain pur, grande fertilité des panicules) et de la durée de leur cycle (précoce). Les lignées ont été sélectionnées de façon à ce que les 13 croisements parentaux soient toujours représentés dans la liste.

## DISCUSSION

Les conditions climatiques et les contraintes biotiques (vers blancs) pendant la campagne ont influencé la performance du dispositif et l'étude. Malgré les contraintes, les coefficients de variations restent acceptables pour les caractères complexes et représentatifs pour les essais en milieu paysan moins contrôlé (N'zue et *al.*, 2004).

Les résultats ont montré une faible corrélation entre les performances en milieu réel et à la station, avec très peu de lignées qui ont un gain de rendement positif dans les deux milieux. Cette différence de performances peut mettre en évidence ce qui diffère une approche conventionnelle d'une approche décentralisée. En milieu réel, la plante s'adapte à l'environnement et non l'inverse (Rivières, 2014). Selon les études de Dawson et al. (2008), ce mode de sélection permettrait de mieux prendre en compte les interactions Génotype  $\times$  Environnement, importantes dans les milieux contrastés. Les variétés issues d'une sélection faite directement dans les conditions cibles sont susceptibles de mieux s'adapter à l'environnement cible. Sélectionner pour cette adaptation locale serait une stratégie plus durable plutôt que de sélectionner des variétés qui ne peuvent exprimer leur supériorité qu'à de hauts niveaux d'intrants (Ceccarelli, 1996).

Cependant les résultats indiquent un certain gain de production pour quelques lignées par rapport au témoin *Chhomrong Dhan*. Cette performance des lignées qui ont surpassé la production du témoin s'explique par leurs géniteurs. En effet, ces lignées sont issues de croisements faisant intervenir des variétés elles-mêmes descendant du témoin. Ces lignées ont montré une certaine stabilité, ils ont une performance favorable dans les deux milieux.

Les caractères variétaux considérés par les producteurs pour choisir une nouvelle variété sont multiples et varient selon les participants, ceci confirme d'autres études sur les critères de sélection paysanne (Radanielina, 2010). Les résultats de l'évaluation participative montrent cependant que pour choisir une variété, le poids des grains d'une parcelle qui est comparable aux mesures de rendement faites par les techniciens est un critère clé pour les participants. On constate également un certain nombre de caractères qui impactent sur les modalités d'obtention de ce rendement comme des caractères liés à l'adaptation de la variété au milieu ou aux caractères plutôt agromorphologiques. Ces caractères peuvent être traduits en critères de sélection comme la hauteur des plantes, la longueur des panicules, la fertilité des panicules, la résistance aux pressions sanitaires. D'autres caractères sont plus complexes et plus difficiles à traduire en critères mesurables comme la durée de période de culture qui est en fait la longueur du cycle en relation avec l'optimisation des systèmes de cultures existants (rotations culturales, temps de travaux) ou la facilité au battage, liée à la hauteur de tige et à l'accrochage des grains aux panicules, qui doit tenir compte de plusieurs caractères comme la résistance à la verse et les grêles. Les études de Randrianarisoa (2004) sur la diffusion variétale de riz à Madagascar confirment ces caractères de choix pour les paysans des Hautes Terres. A première vue, les caractères mentionnés peuvent être traduits facilement aux mêmes critères utilisés par les sélectionneurs en sélection conventionnelle. Mais, l'appréciation de ces critères peuvent différer pour les deux acteurs, à l'exemple de la caractéristique des grains qui représente un facteur principal dans la prise de décision des agriculteurs car constitue un des caractères les plus visibles. La forme des grains est en effet en lien direct avec la quantité de riz à mettre dans une marmite pour les agriculteurs, le grain de riz ne doit être ni trop long, ni trop gros, faute de quoi la quantité à verser doit augmenter. Cette différence d'appréciation de certains critères peut conduire à des choix différents entre sélectionneurs et producteurs. Ceci confirme les constats de VomBrocke et *al.* en 2017, certaines variétés que les sélectionneurs auraient choisies seuls, en station, n'ont pas été choisies par les producteurs. En effet les agriculteurs privilégient certains critères par rapport à leurs besoins qui diffèrent de ceux des chercheurs. L'utilisateur final de la variété étant le paysan, l'associer au processus de sélection permet de valoriser les interactions (Morris et Bellon, 2004), mais également d'augmenter les chances d'adoption des variétés. Elle permet d'identifier et hiérarchiser les « réels » besoins variétaux et les critères de préférence en permettant à l'agriculteur de faire valoir ses points de vue et pratiques (Vernooy, 2003).

La conscience de ce décalage d'importance de critères de sélection est un facteur de changement de comportement important pour les chercheurs, et apporte beaucoup au programme de sélection. La démarche permet aux chercheurs de comprendre les contraintes des agriculteurs et les facteurs contextuels, et de reconsidérer ces critères dans la sélection des variétés plutôt que de se lancer dans une sélection centralisée à

la station selon leurs propres critères. La recherche participative remet donc chaque partie prenante, chercheurs et agriculteurs, à une place et à un rôle bien définis, et oriente mieux le choix des variétés.

## **CONCLUSION**

Les études menées ont permis de montrer les avantages d'une sélection participative et décentralisée. Les expérimentations ont permis d'identifier quatorze lignées capables de concurrencer la production de la variété fétiche de la région, et de sélectionner 25 lignées pour être réétudiées. La sélection participative a documenté les caractères de choix de variétés appliquées par les agriculteurs. Même si dans une sélection standard ces caractères semblent correspondre aux critères des chercheurs, l'importance et l'intérêt/l'interprétation d'un critère par rapport aux autres n'est pas forcément la même pour les agriculteurs. Impliquer les producteurs dans ce processus de sélection s'avère ainsi être primordial non seulement pour pouvoir mieux cerner les critères de choix d'adoption d'une variété mais également pour favoriser l'adoption même des variétés lors de leur future vulgarisation.

L'étude a démontré l'utilité de combiner une approche décentralisée de la sélection et des démarches participatives pour renforcer la connaissance des conditions d'adoption de nouvelles variétés et par conséquent l'efficacité des programmes de recherche en cours d'une part dans leur impact sur les processus d'adoption de nouvelles variétés et d'autre part dans l'impact de ces adoptions sur l'amélioration de la situation socio-économique des adoptants. La sélection participative et décentralisée est ainsi un modèle de sélection à multiples bénéfices permettant à la fois de créer des variétés adaptées au milieu réel mais aussi de faire le pont entre la recherche et le développement en promouvant la collaboration entre chercheurs et agriculteurs.

La sélection participative et décentralisée expérimentée ici implique cependant d'analyser les résultats obtenus sur plusieurs générations. Le travail collaboratif entre chercheurs et agriculteurs doit donc s'institutionnaliser pour pouvoir s'établir sur une longue durée et moins dépendre de l'instabilité des financements par projets.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- 1) ADRAO, 2009. Sélection variétale participative du riz : Manuel du technicien. Cotonou, Bénin : Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO). 126p.
- 2) Ahmadi N., 2004. Upland rice for the highlands : New varieties and sustainable cropping systems to face food security. Promising prospects for the global challenges of rice production the world will face in the coming years? Proceedings of the FAO Rice Conference 2004. Rice in global markets. Rome, 12-13 February 2004.

- 3) Atlin GN., Cooper M., Bjørnstad Å., 2001. A comparison of formal and participatory breeding approaches using selection theory. *Euphytica* 122(3), p463–475.
- 4) Bonneuil C., Demeulenaere E., 2007. Une génétique de pair à pair ? L'émergence de la sélection participative. F. Charvolin, A. Micoud et L. K. Nyhart. *Les sciences citoyennes. Vigilance collective et rapport entre profane et scientifique dans les sciences naturalistes*, Ed.de l'Aube, p.122-147.
- 5) Ceccarelli S., 1996. Positive interpretation of G x E interactions in relation to sustainability and biodiversity. In M. Cooper, G.L. Hammer (eds) : *Plant adaptation and crop improvement*. CAB Int.
- 6) Dawson J., Murphy K., Jones S., 2008. Decentralized selection and participatory approaches in plant breeding for low-input systems. *Euphytica* 160(2), 143–154.
- 7) Dorward P., Craufurd P., KoWMarfo K., Dogbe W., et Ralph Bam R., 2006. Improving participatory varietal selection processes: participatory varietal selection and the role of informal seed diffusion mechanisms for upland rice in Ghana. *Euphytica* 155. p315–327.
- 8) Faure G., Gassel P. (ed.), Triomphe B.(ed.), Temple L. (ed.), Hocdé H (ed.). 2010. *Innovater avec les acteurs du monde rural : la recherche-action en partenariat*. Versailles : Ed. Quae, 221.
- 9) Falconer D.S., 1952. The problem of environment and selection. *American Naturalist* (86), p.293–298.
- 10) INSTAT Madagascar, 2019. Troisième recensement général de la population et de l'habitation (rgph-3).
- 11) Lambrou Y., 2001. A typology : participatory research and gender analysis in natural resource management Research. Cali, Colombia : Participatory Research and Gender Analysis, Consultative Group on International Agricultural Research, Future Harvest. 17 p. (Working document. CGIAR Systemwide Program on Participatory Research and Gender Analysis ; no. 15).
- 12) Lançon J. et Hocde H., 2006. Un cadre de référence pour l'analyse de projets de sélection participative. In : Lançon J., Floquet A., Weltzien E., (éditeurs scientifiques), 2006. *Partenaires pour construire des projets de sélection participative*. Actes de l'atelier-recherche, 14-18 mars 2005, Cotonou, Bénin. Cirad, Inrab, Coopération française, Montpellier, France.
- 13) Min Agri (Ministère de l'Agriculture). 2016. *Stratégie nationale de développement de la filière semences riz à Madagascar*. 58 pages.
- 14) Morris M.L., Bellon M.R., 2004. Participatory plant breeding research: opportunities and challenges for the international crop improvement system. *Euphytica*, 136, 21-35.

- 15) N'zue B., Zohouri P., Get Sangare A. 2004. Performances agronomiques de quelques variétés de manioc (*manihotesculentacrantz*) dans trois zones agro climatiques de la cote d'ivoire. *Agronomie Africaine* 16 (2) : 1 – 7.
- 16) Nelson N, Wright S, eds. 1995. *Power and participatory development: Theory and practice*.
- 17) Oakley P, Marsden D. 1984. *Approaches to participation in rural development*. International Labor Office (ILO), Geneva, Switzerland.
- 18) Raboin L.M., Ramanantsoanirina, A., Dzido, J.L., Radanielina, T., Tharreau, D., Dusserre, J., Ahmadi, N., 2013. Création variétale pour la riziculture pluviale à Madagascar : bilan de 25 années de sélection. *Cahier de l'Agriculture*. 22, 450–458.
- 19) Raboin LM, Randriambololona T, Radanielina T, Ramanantsoanirina A, Ahmadi N, Dusserre J (2014) Upland rice varieties for smallholder farming in the cold conditions in Madagascar's tropical highlands. *Field Crops Research* 169: 11–20. doi: 10.1016/j.fcr.2014.09.006
- 20) Radanielina T, 2010. Diversité génétique du riz (*Oryzasativa L.*) dans la région de Vakinaankaratra, Madagascar. Structuration, distribution éco-géographique et gestion in situ. Thèse de doctorat, Agro Paris Tech (Paris, France) No 2010/AGPT/0093.
- 21) Rakotofiringa A. et al., 2007. Système agraire de la commune rurale d'Andranomanelatra. Région Vakinankaratra, Madagascar, Document de travail BV lac n° 2, 28p.
- 22) Randrianarisoa, J.-C., 2004. La diffusion des variétés de riz à Madagascar. *Revue de la recherche agricole à Madagascar* 22, 14-19.
- 23) Reason P, ed. 1994. *Participation in human enquiry*. Sage Publ, CA.
- 24) Sperling L. et Scheidegger U.C., Modèles de participation paysanne à la sélection variétale, dans Camacho (L.H.) & Scheidegger (U.C.), éd., *Atelier sur les stratégies de l'amélioration variétale dans la région des Grands Lacs*. Actes. Butare : Programme régional pour l'amélioration du haricot dans la région des Grands Lacs, CIAT Accession n°SB327.A844, 1993, pp.6-11.
- 25) Temple L, Kwa M, Fogain R, Mouliom Péfoura A. 2006. Participatory determinants of innovation and their impact on plantain production systems in Cameroon. *International journal of agricultural sustainability*, 4 (3) : 233-243
- 26) UPDR/FAO, 2001. Diagnostic et perspectives de développement de la filière riz à Madagascar. Antananarivo : ministère de l'Agriculture – FAO.
- 27) Vernooy R., 2003. *Les semences du monde : l'amélioration participative des plantes*. CRDI, Ottawa, 120 p.

- 28) Vom Brocke K. et al., 2017. Rapport de campagne 2016-2017 du programme d'amélioration génétique du riz pluvial pour les Hautes terres et le Moyen Ouest de Vakinakaratra. FOFIFA/CIRAD. Antsirabe, Madagascar, 74p.
- 29) Vom Brocke K., Pulcherie KC, Guilleta M., Kaboréd R, Sidibée A, Temple L., Trouche G. (2020). Impact of participatory sorghum breeding in Burkina Faso. *Agricultural Systems* 180, 102775
- 30) Witcombe, J.R., Joshi, A., Joshi, K.D., Sthapit, B.R., 1996. Farmer Participatory Crop Improvement. I. Varietal Selection and Breeding Methods and Their Impact on Biodiversity. *Experimental Agriculture* 32, 445-460.

**EFFET DES EXTRAITS DE PLANTES DE COUVERTURE : *Cosmos Caudatus*, *Crotalaria Grahamiana* (FABACEAE) ET *Desmodium Uncinatum* (ASTERACEAE) SUR LES VERS BLANCS *Heteronychus Bituberculatus* (COLEOPTERA ; SCARABEOIDAE) RAVAGEURS DU RIZ PLUVIAL (*ORYZASATIVA*)**

par

RANAIVOSON Miharimbola F.<sup>(1)</sup>, RATSIMIEBO Masina Eunice <sup>(1)</sup>,  
RANDRIANARIVO Hanitra R<sup>(1)</sup>, RANDRIAMANANTSOA Richard<sup>(2)</sup>,  
RAFARASOA Lala Sahondra<sup>(3)</sup>

(1) Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences Médicales, Mention Biochimie Fondamentale et Appliquée, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar

(2) FOFIFA/ DP SPAD, B.P. 230, Antsirabe 110, Madagascar

(3) Laboratoire d'Entomologie, Mention Entomologie : Cultures, Elevage, Santé/ DP SPAD, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar

## **RESUME**

La plupart des espèces de vers blancs (Coleoptera ; Scarabeoidae) sont nuisibles à la culture du riz pluvial à Madagascar. Trois espèces de plantes de couverture : *Crotalaria grahamiana* et *Desmodium uncinatum* (Fabaceae), *Cosmos caudatus* (Asteraceae) sont utilisées pour déterminer leurs effets suppressifs vis-à-vis du ver blanc *Heteronychus bituberculatus*. Les extractions aqueuses à froid et à chaud de ces trois espèces de plantes ont permis d'obtenir leurs principes toxiques. En effet, *Crotalaria grahamiana* et *Desmodium uncinatum* (Fabaceae) contiennent des composés phénoliques responsables généralement des propriétés antioxydantes. *Cosmos caudatus* (Asteraceae) renferme des leucoanthocyanes disposant d'activité antimicrobienne distinguant les astéracées. Ces composés seraient à l'origine de la perte de poids notable du vers blancs-pendant les essais. Des résidus de paille de riz imbibés d'une concentration unique de 500 mg/ml de chaque extrait, ont servi de nourriture à l'animal durant le test. Les effets anti-appétants pourraient être aussi engendrés par l'effet organoleptique des extraits.

**Mots clés :** *Crotalaria grahamiana*, *Desmodium uncinatum*, *Cosmos caudatus*, toxicité, vers blancs, *Heteronychus bituberculatus*

## ABSTRACT

Most species of white grubs (Coleoptera; Scarabeoidea) are harmful to the cultivation of rainfed rice in Madagascar. Three species of cover crops: *Crotalaria grahamiana* and *Desmodium uncinatum* (Fabaceae), *Cosmos caudatus* (Asteraceae) are used to determine their suppressive effects against the white grub *Heteronychus bituberculatus*. The cold and hot aqueous extractions of these three plant species were used to obtain their toxic principles. Indeed, *Crotalaria grahamiana* and *Desmodium uncinatum* (Fabaceae) contain phenolic compounds generally responsible for antioxidant properties. *Cosmos caudatus* (Asteraceae) contains leucoanthocyanins endowed with antimicrobial activity distinguishing the Asteraceae. These compounds would be responsible for the refusal of the animal to eat properly. Such refusal was manifested by a significant weight loss of the grubs during the tests. Residues of rice straw soaked in a single concentration of 500 mg/ml of each extract were fed to the animal during the test. The anti-appetite effects could also be due to the organoleptic effect of the extracts.

**Key words** : *Crotalaria grahamiana*, *Desmodium uncinatum*, *Cosmos caudatus*, toxicity, white grubs, *Heteronychus bituberculatus*

## INTRODUCTION

Le riz occupe une place prépondérante dans le secteur agricole à Madagascar. La population malgache en consomme trois fois par jour soit 138 kg/habitant/an en milieu rural et 118kg/habitant/an en milieu urbain (FAO, 2016). La demande croissante en riz a entraîné une pression accrue sur les terres inondées favorisant ainsi la culture du riz pluvial des hautes terres et sur les pentes des collines (Rafarasoa et al., 2016). Par conséquent, le riz pluvial offre une alternative pour l'extension de la culture du riz (Rakotoson, 2019).

Cependant, les attaques des vers blancs et des adultes de *Heteronychus spp.* constituent une contrainte majeure dans la culture du riz pluvial. Les adultes s'attaquent surtout aux jeunes plants dès le stade de levée de la culture tandis que les larves s'attaquent aux racines. Les dommages s'observent à partir du stade fin tallage de la culture ; le riz infesté jaunit, se dessèche et meurt (Randriamanantsoa, 2010). Certains auteurs affirment que les systèmes rizicoles pluviaux à Madagascar aggravent ces dégâts dans la région du lac Alaotra. D'autres ont cependant trouvé que ces systèmes sur les Hautes terres du Vakinankaratra sont suppressifs vis-à-vis de ces ravageurs (RATNADASS et al., 2006). Dans différentes régions de Madagascar, les vers blancs *Heteronychus bituberculatus* sont plus abondants juste en dessous des résidus de la récolte (mulch) (Rabary et al., 2011). Face à ces problèmes, les insecticides de synthèse représentent une solution notamment dans le traitement des

semences. Ils garantissent une protection efficace contre les scarabées noirs. Cependant, tenant compte de son coût et son impact environnemental, ce procédé pose des problèmes de durabilité (Randriamanantsoa et Ratnadass, 2005, Ratnadass et *al.*, 2012b). Un système de couverture de sol permanent de paillis mort a ouvert de nouvelles perspectives pour la culture du riz (Bruelle et *al.*, 2015) ; le but est alors de minimiser, par la gestion de l'agroécosystème rizicole pluvial, la fonction de ravageur des vers blancs et maximiser la fonction d'ingénieur du sol de certaines espèces (Randriamanantsoa et Ratnadass, 2005). C'est ainsi que depuis 2018 et 2019, des études sur l'analyse des effets des extraits aqueux des plantes de couverture ainsi que des observations sur les comportements des vers blancs face à ces extraits ont été menées.

## **MATERIELS ET METHODES**

### **Récolte et préparation des matériels végétaux**

Les plantes de couverture sont récoltées en mars 2018 et avril 2019<sup>2</sup> dans la partie d'Anjepy Manankavaly Antananarivo qui indique une latitude de 47° 43' E, une longitude de 18° 49' S et une altitude d'environ 1472m. Les plantes entières de *Crotalaria grahamiana*, *Desmodium uncinatum* et *Cosmos caudatus* sont séchées à l'air libre et à l'abri du soleil puis broyées jusqu'à obtenir une poudre. Cette dernière est ensuite stérilisée et stockée dans des boîtes fermées hermétiquement. Cette poudre, stérile, est utilisée pour le criblage phytochimique, et pour les extractions aqueuses à froid et à chaud. Chaque extrait issu des extractions aqueuses est testé sur les larves qui sont au stade L3 de *Heteronychus bituberculatus* afin d'apprécier leurs toxicités sur ce ver blanc. Alors que le procédé de criblage phytochimique a pour but de détecter les principales familles chimiques des principes actifs qui pourraient être responsables ou non des effets biocides de la plante. Les larves L3 se distinguent par leur voracité, et ce, dans le but d'accumuler des réserves avant la nymphose qui normalement se passe au-delà de 8 semaines après la fin du stade L2.

L'analyse phytochimique de chaque plante de couverture a été effectuée selon la procédure standard du criblage phytochimique (Harborne, 1988, Evans, 2002). Il s'agit de l'ensemble des analyses permettant de détecter les principales familles chimiques présentes dans un matériel végétal (Boiteau et *al.*, 1964, Fong et *al.*, 1977, Bruneton, 2009).

### **Collecte et élevage des vers blancs**

En juin 2018 et Août 2019, des larves de *Heteronychus bituberculatus* ont été collectées à Ambohimananabe Antsirabe (L19° 51' S ; l 47° 1' E) qui se situe à une altitude d'environ 1501 mètres et ont ensuite été triées. Les larves de stade L3 sont élevées séparément dans des boîtes rectangulaires en plastique (6 x 4,5 x 4,5 cm) munies d'un couvercle percé d'un trou de 5 mm de diamètre (Randriamanantsoa et *al.*,

2010) contenant chacune 30 g de sol d'Ambohimanabe stérilisé à l'étuve pendant 72 heures à 60° C (Ratnadass et al., 2013, Rafaraso et al., 2016). Tous les outils sont également stérilisés au préalable (Pli, 1990). Les vers blancs sont nourris avec des résidus de paille de riz imbibés d'extrait pendant 8 semaines de façon continue. Les résidus de paille sans extrait ont servi de nourriture aux larves témoins.

Les boîtes d'élevage sont placées sur la paille suivant une randomisation totale. Chaque test à extrait aqueux à froid, d'une part et à chaud d'autre part, utilise 28 larves avec les témoins correspondants. Pour les besoins de 3 répétitions, au total, 24 larves sont testées. Des recherches antécédentes ont révélé que *Heteronychus bituberculatus* ainsi que d'autres espèces comme *Heteronychus plebejus* et *Heteronychus aratorrugifrons* sont des rhizophages facultatives (Ratnadass et al., 2013) ; c'est la raison pour laquelle les larves de *Heteronychus bituberculatus* ont pu être nourries aux résidus de paille de riz. Le test biologique a duré 8 semaines sans interruption et la dose moyenne de chaque extrait aqueux est fixée à 500 mg/ml. Ainsi, les pailles réduites en poudre destinées aux tests sont imbibées de l'extrait tandis que les témoins sont imbibés d'eau distillée. Avant la manipulation toutes les semaines, chacune des larves est pesée pour évaluer la variation du poids de l'espèce de vers blancs. Les tests à 3 répétitions ont été répartis entre mai 2018 et août 2019 ; et les moyennes des poids pour chaque extrait et pour chaque semaine sont enregistrées.

## RESULTAT

### Effets des extraits sur le poids des larves L3 de *Heteronychus bituberculatus*

Le suivi hebdomadaire des pesées des L3 a permis de constater les effets des extraits à froid et à chaud sur les poids des larves *Heteronychus bituberculatus* (figures 1, 2, 3).

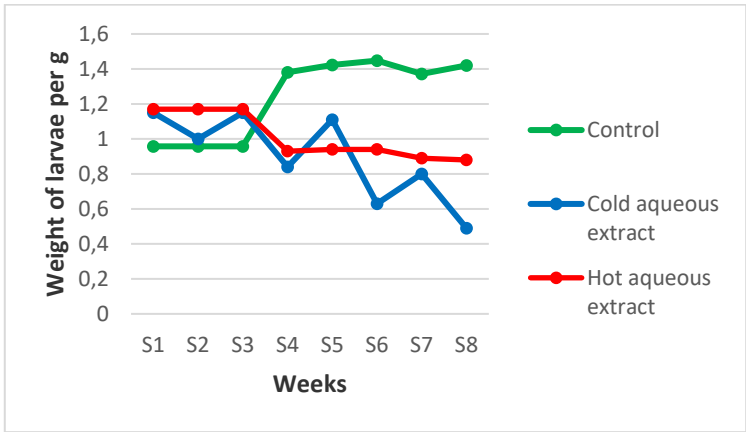
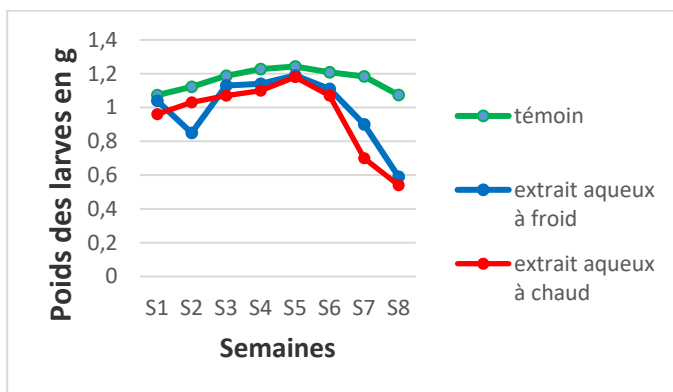
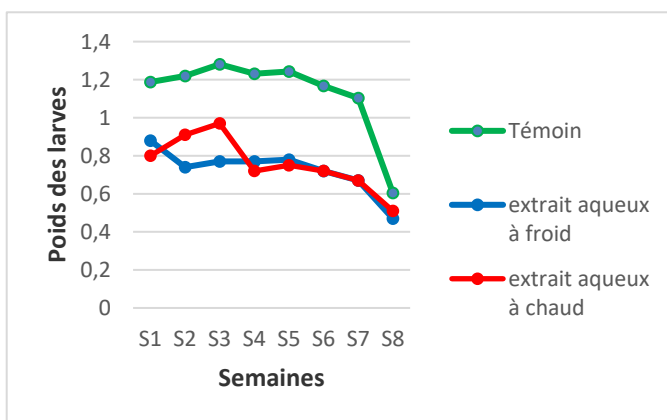


Figure 1 : Effet des extraits de *Crotalaria grahamiana* sur les poids des larves de *Heteronychus bituberculatus*



**Figure 2 :** Effet des extraits de *Desmodium uncinatum* sur les poids des larves de *Heteronychus bituberculatus*



**Figure 3 :** Effet des extraits de *Cosmos caudatus* sur les poids de larves de *Heteronychus bituberculatus*

Ces trois figures montrent :

### ***Témoin***

Une légère augmentation de poids des larves est observée dès le début jusqu'à la fin du test. Si une légère diminution des poids du témoin a été constatée à la fin du test, c'est la nymphose qui se prépare et la larve cesse de s'alimenter.

### ***Extrait aqueux à froid***

Un gain de poids des larves a été observé jusqu'à la 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> semaine du test (S4 et S5). Les larves se sont développées, elles sont nourries avec des pailles imbibées d'extraits. Mais une diminution progressive des poids des larves est enregistrée jusqu'à la fin du test (S8). Ce qui laisse présager un refus de s'alimenter ou une toxicité éventuelle de l'extrait.

### **Extrait aqueux à chaud**

Une légère croissance des poids a été observée pendant les 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> semaine puis une perte de poids est également observée de la 5<sup>ème</sup> semaine jusqu'à la fin du test. Ceci laisse également présager un refus de s'alimenter ou une toxicité éventuelle de l'extrait.

A l'issue de ces observations, les effets des extraits aqueux à froid et à chaud à concentration unique de 500mg/ml donnent approximativement les mêmes résultats pour les trois plantes utilisées.

Après estimation de la variation des poids de larves *Heteronychus bituberculatus* pour chaque extrait de plante (Tableau 1), il est apparu que *Crotalaria grahamiana* est plus efficace pour obtenir une diminution de poids des larves. En effet, *Crotalaria grahamiana* agit plus activement, à hauteur de 61%, sur les larves par rapport au *Desmodium uncinatum* et *Cosmos caudatus*.

**Tableau 1** : Estimation de la variation des poids de larves de *Heteronychus bituberculatus* pour chaque extrait de plante.

Extraits des plantes	<i>Cosmos caudatus</i>	<i>Crotalaria grahamiana</i>	<i>Desmodium uncinatum</i>
Diminution des poids de larves de <i>H. bituberculatus</i>	Jusqu'à		
	<b>33 %</b>	<b>61 %</b>	<b>46 %</b>

### **Le criblage phytochimique des plantes de couverture**

Les résultats du criblage phytochimique de la plante entière, de chaque plante de couverture étudiée, sont compilés dans le tableau 2. Il s'agit de présenter les familles chimiques trouvées dans les plantes qui pourraient être responsables de l'effet toxique/biocide.

**Tableau 10** : Criblage phytochimique de la plante entière (tige, feuilles, fleurs et racine) de chaque plante de couverture

Familles chimiques		<i>Crotalaria grahamiana</i>	<i>Desmodium uncinatum</i>	<i>Cosmos Caudatus</i>
	Test	plante entière	plante entière	plante entière
Alcaloïdes	Mayer	-	-	-
	Wagner	-	-	-
	Dragendorff	-	-	-
	Test de confirmation			

<b>Saponosides</b>	Test de mousse	-	+	-
<b>Flavonoïdes</b>	Willstater	-	+	-
<b>Tanins et polyphénols</b>	Gelatine 1%	-	+	-
	Gélatine salé 10%	+	-	-
	FeCl3	+	+	-
<b>Stéroïdes triterpènes</b>	Lieberman – burchard	-	+	+
		-	+	-
<b>Stérols insaturés</b>	Salkowski	-	-	-
<b>Désoxyoses</b>	Keller-killiani	-	-	-
<b>Irridoïdes</b>	HCl à chaud	+	-	-
<b>Leucoanthocyanes</b>	Batesmith	-	-	+
<b>Anthraquinones</b>	Borntrager	-	-	-

(+) : Présence des familles chimiques

(-) : absence des familles chimiques

- *Crotalaria grahamiana* : contient des tanins et des polyphénols ainsi que des irridioïdes ;
- *Desmodium uncinatum* : renferme des saponosides, des flavonoïdes, des tanins et des polyphénols, des stéroïdes et des triterpènes ;
- *Cosmos caudatus* : contient des leucoanthocyanes, stéroïdes et triterpènes.

Le criblage phytochimique des différentes parties de *Crotalaria grahamiana* est présenté au tableau 3. Etant donné que cette plante est un candidat potentiel pour stopper le développement des larves de *Heteronychus bituberculatus* de l'ordre de 61% (tableau 1), il paraît intéressant de voir la répartition de ces différentes molécules dans les différentes parties de la plante.

**Tableau 11** : Criblage phytochimique des différentes parties de la plante *Crotalaria grahamiana* (fleurs, feuilles, tige)

<b>Familles chimiques</b>	<b>Test</b>	<i>Crotalaria grahamiana</i>		
		<b>Fleurs</b>	<b>Feuilles</b>	<b>Tige</b>
<b>Alcaloïdes</b>	Mayer	-	-	-
	Wagner	-	-	-
	Dragendorff	-	-	-
	Test de confirmation			
<b>Saponosides</b>	Test de mousse	-	-	+

<b>Flavonoïdes</b>	Willstater	-	-	-
<b>Tanins et polyphénols</b>	Gelatine 1%	+	+	-
	Gélatine salé 10%	+	-	-
	FeCl3	-	-	+
<b>Stéroïdes triterpènes</b>	Lieberman – burchard	+	-	+
		+	-	-
<b>Stérols insaturés</b>	Salkowski	+	-	-
<b>Désoxyoses</b>	Keller-killiani	-	-	+
<b>Iridoïdes</b>	HCl à chaud	-	+	-
<b>Leucoanthocyanes</b>	Batesmith	+	-	-
<b>Anthraquinones</b>	Borntrager	-	-	

(+) : Présence des familles chimiques

(-) : absence des familles chimiques

Les différentes parties des organes de *Crotalaria grahamiana* composées de :

- fleurs : elles contiennent des tanins et des polyphénols, des stéroïdes, des triterpènes, des stérols insaturés et des leucoanthocyanes ;
- feuilles : elles renferment des tanins et polyphénols, et des iridoïdes sont détectés ;
- tige : elle contient des saponosides, des tanins et des polyphénols, des désoxyoses sont également trouvés.

A l'issue du criblage des différentes parties de *Crotalaria grahamiana*, les stérols, stéroïdes et leucoanthocyanes sont seulement détectés dans les fleurs, des iridoïdes dans les feuilles, et des désoxyoses dans la tige. Les tanins et polyphénols sont retrouvés dans toutes les parties de la plante. Ce qui suppose que l'effet appétant de *C. grahamiana*, est en partie dû à la présence de stérols et stéroïdes qui sont nécessaires au développement des insectes car ces molécules doivent leur être apportées par l'alimentation. La présence notable des tannins et polyphénols ainsi que des saponosides à vertu insecticide ont contribué à la toxicité de la plante.

La famille des Fabacées contient en général des saponosides qui sont des insecticides, c'est la raison pour laquelle l'efficacité de *Crotalaria grahamiana* en est accrue (61%) ainsi que celle de *Desmodium uncinatum*(46%) (cf : tableau 1)

## DISCUSSION ET CONCLUSION

La paille imbibée d'extrait à une concentration de 500 mg/ml reste appréciée par les larves. L'augmentation des poids jusqu'aux 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> semaines (S4 et S5) explique ce fait. Au-delà de la 5<sup>ème</sup> semaine (S5), une diminution progressive des poids de larve est notée. L'effet toxique des plantes de couverture testées et/ou le refus de l'animal à s'alimenter pourraient expliquer ce comportement des larves. Le refus pourrait être également d'ordre physiologique, en effet les L3 vont cesser de s'alimenter et se préparent à la nymphose. Il est alors recommandé de travailler sur les L2 pour mieux apprécier les effets toxiques/biocides de ces extraits de plantes. Mais d'ores et déjà, il peut être admis que ces extraits sont toxiques pour ces vers blancs. Les extraits aqueux à froid et à chaud représentent les mêmes effets : un effet appétant dès la 1<sup>ère</sup> semaine jusqu'aux 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> semaine. Après la 5<sup>ème</sup> semaine (S5) jusqu'à la fin du test (S8), les extraits présentent des effets toxiques qui peuvent être biocides si une concentration plus élevée est administrée. Il s'agit alors d'augmenter la concentration des extraits pour optimiser leur efficacité sachant que l'on ne peut pas prolonger le test au-delà de S8 car la larve se transforme en nymphe et cesse de s'alimenter.

Un dérivé d'albumine contenue dans les graines de légumineuses est connu pour ses propriétés insecticides. Ce potentiel est beaucoup plus puissant chez certaines légumineuses, c'est le cas de *Medicago truncatula*. Il constitue une piste pour la conception de nouveaux biopesticides (Agro Perspectives, 2014). Les fabacées étudiées sont des légumineuses candidates potentielles à la lutte contre *Heteronychus bituberculatus* et l'exploitation des graines constituerait une autre voie de recherche d'autant plus que la recherche d'alternatives aux pesticides chimiques est vivement recommandée pour la protection de l'environnement (Randrianarivo, 2015).

## REMERCIEMENTS

Cette étude financée par l'Union Africaine et l'Union Européenne dans le cadre du projet EcoAfrica (Ecological intensification pathways for the future of croplivestock integration in AFRICA agriculture), est inscrite dans l'axe de recherche sur la gestion des bioagresseurs du riz pluvial du *dispositif en partenariat des Systèmes de Production d'Altitude et Durabilité* (dp SPAD) à Madagascar. Nous remercions vivement les partenaires de ce projet et le collectif de chercheurs du dp SPAD qui ont suivi ce travail.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) Agro Perspectives : Diffusion des techniques innovantes en agriculture. 13 juin 2014. Les légumineuses à l'origine d'une alternative aux traitements insecticides classiques. ARAD 2, association de CER France Normandie.
- 2) Boiteau, P., Pasich, B., Rakoto Ratsimamanga, A. 1964. Les triterpénoïdes en physiologie végétale et animale. Paris : Gauthier-Villars Editeur.
- 3) Bruelle, G., Naudin, K., Scopel, E., Domas, R., Rabeharisoa, L. & Tiftonell, P. 2015. Short-tomid-term impact of conservation agriculture on yield variability of upland rice: evidence from farmer's fields in Madagascar. *Experimental Agriculture* 51 : 66-84.
- 4) Bruneton, J. 2009. Pharmacognosie-Phytochimie, plantes médicinales. 4<sup>ème</sup> édition, *revue et augmentée*. Paris : Tech et Doc Edition. 1288 p.
- 5) Evans, W. C. Trease and Evans. 2002. Pharmacognosy (15th ed.), Elsevier Science limited, New York. 156-200 p.
- 6) FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. Save and Grow in Practice: maize, rice, wheat. A guide to sustainable Cereal production. Rome.
- 7) Fong, H. H. J., TIN, W. A. M. and Farnsworth, N. R. 1977. Phytochemical screening. Chicago : *Review University of Illinois*, 73 – 126 p.
- 8) Harborne, J. B. 1988. Phytochemical Methods-A. Guide to Modern Techniques of Plant Analysis. Chapman and Hall, London. 182- 190 p.
- 9) PLI. 1990. Protection intégrée en riziculture au Lac Alaotra. Rapport d'activité 6 : Aout 1989-juillet 1990, 43 – 57.
- 10) Rabary, B., Naudin, K., Letourmy, P., Mze Hassani, I., Randriamanantsoa, R., Michellon, R., Rafaraso, L. & Ratnadass, A. 2011. White grubs, Scarabaeidae larvae (Insecta, Coleoptera) control by plants in conservation agriculture : effects on macrofauna diversity. 5th World Congress of Conservation Agriculture. 26-29 September 2011, Brisbane, Australia.
- 11) Rafaraso, L. S., Letourmy, P., Naudin., Andrianantoandro, A., Rajaonera, T. E., Randriamanantsoa, R., Ratnadass, A. 2016. Effect of cover crop residues on white grubs and adults of *Heteronychus bituberculatus* (Coleoptera : Dynastidae) and on the damage they cause to upland rice. *African entomology* (24) : 75-79.
- 12) Rakotoson, L. T. 2019. Etude des bases génétiques de l'efficience de l'utilisation de l'azote du riz pluvial (*Oryza sativa* L.) à Madagascar. Thèse de Doctorat en Physiologie végétale. Université d'Antananarivo. 138 p.
- 13) Randriamanantsoa, R. 2010. Systématique des Vers blancs (Coleoptera, Scarabeoidae) en riziculture pluviale des régions de hautes et moyennes altitudes du Centre et du Centre-Ouest de Madagascar. Bioécologie du ravageur

*Heteronychus arator rugifrons* (Fairmaire, 1871 – Coleoptera, Scarabeoidea, Dynastidae). Thèse de Doctorat en Entomologie. Université d'Antananarivo. 166 p.

- 14) Randriamanantsoa, R., Ratnadass, A. 2005. Protection insecticide du riz pluvial par traitement de semence à Madagascar. 7<sup>e</sup> Conférence sur les ravageurs en agriculture. Montpellier. 26 et 27 Octobre 2005, 6 p.
- 15) Ratnadass, A., Michellon, R., Randriamanantsoa, R., Seguy, L. 2006. Effects of soil and plant management on crop pests and diseases. In: Uphoff, N., Ball, A., Fernandes, E., Herren, H., Husson, O., Laing, M., Palm, C., Pretty, J., Sanchez, P., Sanginga, N. & Thies, J. (Eds) *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. 589 – 602 p. CSC Press, Boca Raton, U.S.A.
- 16) Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J. & Habib, R. 2012b. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems : a review. *Agronomy for Sustainable Development* 32: 273 – 303.
- 17) Ratnadass, A., Razafindrakoto, C., Andriamizely, H., Ravaomanarivo, L.H., Rakotoarisoa, H. L., Ramahandry, R., Dzido, J. L. & Rafaraso, L. S. 2012a. Protection of upland rice at Lake Alaotra (Madagascar) from black beetle damage (*Heteronychus plebejus*) (Coleoptera : Dynastidae) by seed dressing. *African Entomology* 20:177-181.
- 18) Ratnadass, A., Randriamanantsoa, R., Rajaonera, T.E., Rabearisoa, M.Y., E., Moussa, N., & Michellon, R. 2013. Interaction entre le système de culture et le statut (ravageur ou auxiliaire) des vers blancs (Coleoptera : Scarabeoidea) sur le riz pluvial. *Cahier Agricultures* 22 : 432-441.