



Connaissances endogènes des bio-indicateurs de la fertilité des sols chez les paysans de Soalandy, Hautes Terres centrales de Madagascar

Noroso Christine Razafindramanana^{1*}, Saïd Assoumani Mmadi², Jaona Harilala Andriamaniraka¹, Falinirina Marie Virginie³, Verohanitra Razanamirindra¹

⁽¹⁾Université d'Antananarivo. École Supérieure des Sciences Agronomiques. Mention Agriculture Tropicale et Développement Durable. BP 175 Ambohitsaina Antananarivo101 (Madagascar). E-mail : soamananjara@gmail.com

⁽²⁾Diversification et Résilience agricole au Centre rural de développement économique Hamalengo-Diboïni. BP 570 Moroni (Comores)

⁽³⁾Université d'Antananarivo. École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA). BP 1500 Ambohitsaina Antananarivo101 (Madagascar).

Reçu le 03 septembre 2026, accepté le 24 septembre 2026, publié en ligne le 29 septembre 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i3.44>

RESUME

Description du sujet. Les savoirs endogènes sur la fertilité des sols constituent une source d'information encore insuffisamment intégrée aux politiques publiques et aux dispositifs de recherche-développement. Fondés sur l'expérience des producteurs et transmis de génération en génération, ils peuvent contribuer à l'identification de bioindicateurs de la qualité des sols.

Objectif. Cette étude vise à analyser les connaissances paysannes relatives aux indicateurs de fertilité des sols et à les confronter aux résultats des analyses physico-chimiques.

Méthodes. Une enquête semi-directive a été menée auprès de 102 producteurs afin d'identifier les plantes indicatrices ainsi que les paramètres physiques, biologiques et chimiques utilisés pour caractériser la fertilité des sols. Des échantillons de sol ont ensuite été prélevés à 20 cm de profondeur au niveau des sites où se développaient les six plantes indicatrices les plus fréquemment citées, puis analysés en laboratoire.

Résultats. L'inventaire a identifié 21 espèces associées aux sols fertiles, dont *Cynodon dactylon*, *Oxalis latifolia* et *Bidens pilosa* sont les plus citées. Vingt-huit espèces ont été associées aux sols pauvres, notamment *Lantana camara*, *Psidium altissima* et *Psidium guajava*. Les perceptions paysannes concernant la végétation et les caractéristiques de surface du sol sont globalement cohérentes avec les résultats physico-chimiques. Toutefois, l'association de *Lantana camara* aux sols pauvres demeure à nuancer.

Conclusion. Les résultats montrent que les savoirs endogènes, corroborés par les analyses physico-chimiques, constituent des indicateurs pertinents de la fertilité des sols et peuvent compléter les approches conventionnelles, notamment lorsque les analyses de laboratoire restent financièrement peu accessibles aux producteurs.

Mots-clés : Perceptions paysannes, Analyses physico-chimiques des sols, Sols pauvres, plantes indicatrices, région d'Analamanga/Madagascar.

ABSTRACT

Farmers' Endogenous Knowledge of Soil Fertility Bio-Indicators in Soalandy, Central Highlands of Madagascar

Description of the subject. Indigenous knowledge on soil fertility remains insufficiently integrated into public policies and research and development initiatives. Rooted in farmers' empirical experiences and transmitted across generations, these knowledge systems provide valuable insights into soil quality assessment, particularly through the identification of locally recognized bioindicators.

Objective. This paper aims to investigate local people knowledge about soil fertility indicators, in order to compare it with the physico-chemical results of the local soils

Methods. A semi-structured survey was performed with 102 individuals to identify the soil fertility indicator plants and thus the physical, biological and the chemical parameters known by farmers in order to assess their soil fertility. Soil sampling was performed in 20 cm depth and taken at the sites of the six most soil fertility indicator plants cited by the local farmers. The collected samples were analyzed in laboratory.

Results. The survey results discovered 21 soil fertility indicator plant species, in which the most cited were *Cynodon dactylon*, *Oxalis latifolia* and *Bidens pilosa*. However, for the soil infertility indicator plants, 28 species were identified, among which the three most cited were *Lantana camara*, *Psiadia altissima* and *Psidium guajava*. Regarding the perception of the local farmers of the vegetation condition and soil characteristics, these generally appear in coherence with the physico-chemical results for the soils in situ. Conversely, their interpretation for *Lantana camara* as soil infertility indicator was not evident.

Conclusion. Overall, indigenous knowledge aligns closely with physicochemical laboratory results, offering reliable, community-based indicators for evaluating soil fertility. Integrating such knowledge into conventional assessment approaches offers a complementary alternative, particularly where laboratory analyses remain financially inaccessible to the majority of Malagasy farmers.

Keywords: Farmer perception, Soil physico-chemical analysis, Infertile soils, Soil fertility indicator plants, region of Analamanga/Madagascar.

1. INTRODUCTION

Le sol constitue une ressource naturelle indispensable pour toute forme de vie sur Terre, en raison des multiples services écosystémiques qu'il fournit (Raous *et al.*, 2021). Il offre des éléments nutritifs, indispensables à la croissance et au développement des plantes (Dominati *et al.* 2010) et constitue un habitat pour tous les êtres vivants (Lavelle *et al.*, 1995). Pour les paysans producteurs, le sol est un maillon fort de la production agricole. Dans les sociétés rurales africaines, le sol est perçu comme un pilier fondamental de la production agricole et est souvent considéré comme une « mère nourricière » (Taddei *et al.*, 2024). Une liaison étroite est donc née depuis des longues dates entre les paysans et le sol agricole.

En Afrique, l'évaluation de la fertilité des sols ne se limite pas aux approches scientifiques basées sur des analyses conventionnelles des sols au laboratoire, mais intègre aussi à des savoirs endogènes, hérités et transmis de génération en génération (Altieri, 2004). Les producteurs agricoles disposent ainsi d'un savoir empirique approfondi leur permettant d'évaluer la fertilité de leurs sols. Cette évaluation repose sur l'observation d'indicateurs visuels des caractéristiques des sols et des végétation.

À titre illustratif, certaines plantes sont identifiées comme des espèces indicatrices en raison de leur affinité particulière avec des sols fertiles ou appauvris. Leur présence ou leur absence guide ainsi les décisions d'exploitation des parcelles agricoles (M'Biandoun M. & Bassala., 2003), conformément au principe selon lequel, la distribution des espèces dépend des facteurs écologiques du milieu (Mahamoud & Akpo, 2018). De même, Kissou *et al.* (2014) montrent que les

paysans disposent d'une connaissance approfondie de leurs sols. Cette connaissance est confirmée par la concordance observée entre les résultats des analyses de laboratoire et les perceptions paysannes relatives aux caractéristiques de leurs sols.

Cependant, les savoirs endogènes sont souvent ignorés et/ou sous-estimés par les politiques publiques et les institutions de recherche et de développement. Dans cette perspective, une étude a été menée dans la Région d'Analamanga, au sein de la Commune Rurale de Soalandy, afin d'analyser les savoirs locaux relatifs aux indicateurs de fertilité des sols, et de les confronter aux résultats d'analyses physico-chimiques au laboratoire.

L'intérêt de cette étude réside dans la valorisation des connaissances endogènes comme outil pertinent pour fournir des indications préliminaires sur la qualité des sols. Ces connaissances peuvent aussi contribuer à l'identification d'indicateurs simples, accessibles et potentiellement pertinents pour le diagnostic de la fertilité des sols, notamment dans les contextes où le coût des analyses de laboratoire demeure inaccessible à une grande majorité des producteurs malgaches.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Site d'étude

L'étude a été conduite dans le village de Soalandy (18°59'25"S, 47°30'00"E), situé dans la Commune Rurale de Soalandy, au sein du district d'Antananarivo-Atsimondrano, dans la région d'Analamanga, sur les Hautes Terres centrales de Madagascar d'octobre à décembre 2024 (figure 1).

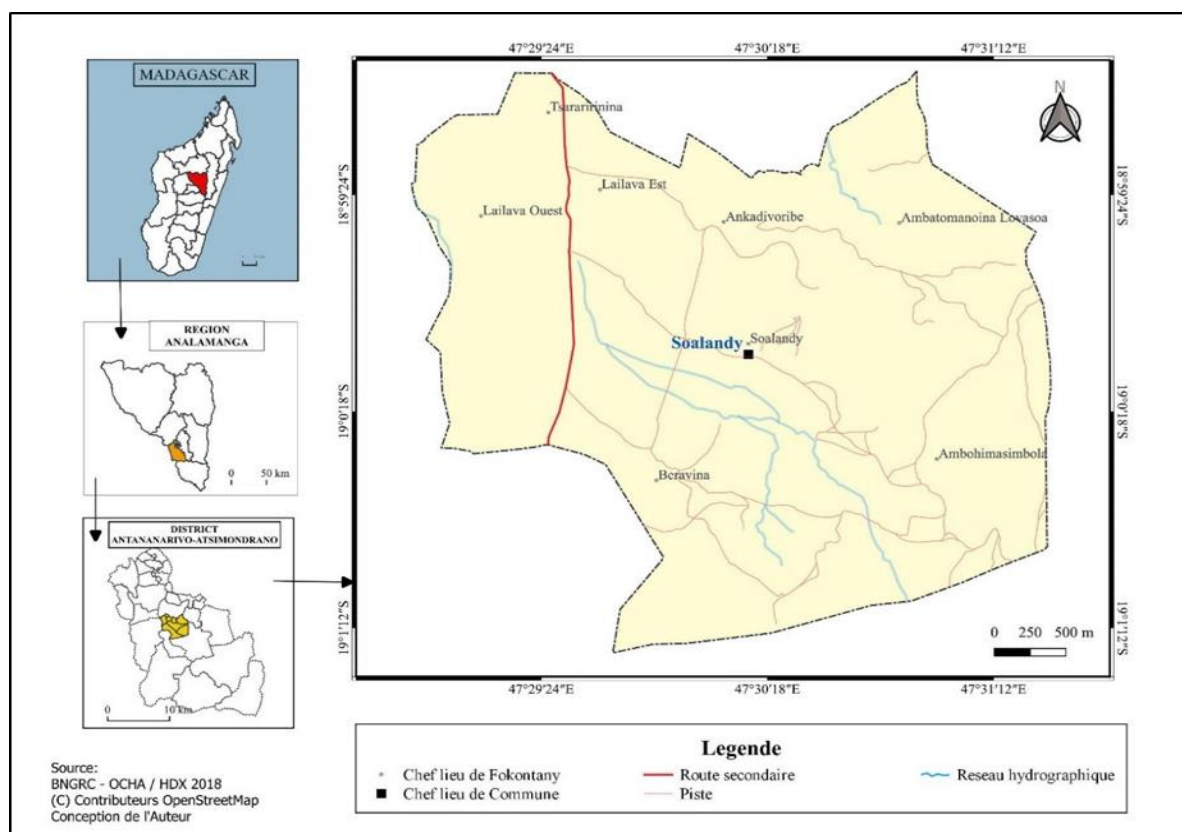


Figure 1. Carte de localisation de site d'études

Le site d'étude est caractérisé par un climat tropical d'altitude, avec une saison sèche marquée et une saison des pluies concentrée entre novembre et avril. Le cumul de la précipitation moyenne annuelle est de 1219 mm avec une température moyenne annuelle de l'ordre de 19,35 °C. Selon Randriamaromanana (2021), les sols de la Commune Rurale de Soalandy se répartissent en quatre grandes classes le long de la topo-séquence : une association de sols ferrallitiques fortement désaturés, plus ou moins humifères, parfois rajeunis et remaniés, ainsi que de sols minéraux bruts est dominée sur les collines, des sols ferrallitiques désaturés et humifères, souvent hydromorphes, ou de sols peu évolués d'apport colluvial recouvrant des sols ferrallitiques hydromorphes se trouvent en bas versant. Dans les vallées et plaines alluviales, il y a une association de sols minéraux bruts, de sols peu évolués d'apport alluvial, de sols hydromorphes minéraux (à pseudogley ou à gley), de sols hydromorphes moyennement organiques, ainsi que de sols humiques à gley est observée.

La couverture végétale est composée principalement par des formations graminéennes, entrecoupées de reboisements d'eucalyptus et des pins qui sont surtout visibles sur les sommets des collines. Les versants des collines sont également dominés par des plantations de pins (*Pinus* spp.), tandis que l'eucalyptus (*Eucalyptus* spp.) y reste présent mais moins fréquent. Les bas-fonds sont colonisés par des formations graminéennes à base

de *Cynodon dactylon*), auxquelles s'ajoutent quelques pieds de bambou sauvage (*Arundo donax* L.) ainsi que *Psiadia altissima*.

2.2. Inventaire des plantes indicatrices des sols pauvres et fertiles

L'inventaire vise à identifier les plantes indicatrices de la fertilité des sols afin d'établir un lien entre la flore sur place et la qualité des sols. Une fiche d'enquête a été préalablement élaborée avant l'enquête, elle se structure en deux points principaux : (i) la connaissance locale de la population les noms des plantes indicatrices de sols fertiles et pauvres, fondé sur leur expérience et leurs observations pratiques ; et (ii) autres paramètres physiques, biologiques et chimiques des sols reconnus par les paysans comme indicateurs de la fertilité des sols.

Les enquêtés ont été sélectionnés parmi les personnes âgées de plus de 40 ans et résidant sur le site depuis plus de dix ans, critères supposant une bonne connaissance du milieu. Au total, 102 individus répondant à ces conditions ont été retenus.

2.3. Prospection et description des sites

La prospection des sites des prélèvements des plantes indicatrices de la fertilité des sols a été dictée par le traitement des données statistiques. La

localisation des stations d'échantillonnage était basée sur une observation sur terrain. L'aire des prélèvements des échantillons des sols à analyser a été effectué sur un endroit non anthropisé, présentant des plantes indicatrices mentionnées par les enquêtes.

Une fois, les sites de prélèvement ont été localisés, ils ont été géoréférencés à l'aide d'un GPS. Une description des paysages a été réalisée avant le prélèvement des sols. Cette étape visait à identifier in situ les indicateurs de l'état de fertilité des sols sur place : la présence de croûte de battance, les traces d'érosion, les affleurements rocheux, le degré de pierrosité, les indices d'hydromorphie, la couleur du sol, la taille des mottes, la profondeur du sol et les activités faunistiques (turricules de vers de terre, galeries d'espèces souterraines). La couleur des sols a été déterminée à l'aide du code de Munsell (Pansu *et al.*, 1998).

La description de la couverture végétale a été également programmée : le taux de couverture végétale, les caractéristiques des végétaux en se référant à la couleur des feuilles, la portance de la plante, la hauteur des plantes et l'état sanitaire de la plante. Ces diagnostics sommaires ont été combinés avec des analyses physico-chimiques des sols au laboratoire.

2.4. Prélèvement des échantillons des sols

Afin d'obtenir un échantillon composite représentatif, les prélèvements de sols étaient réalisés sur une zone homogène. À cet effet, un test d'homogénéité a été préalablement effectué à l'aide d'une tarière manuelle. Le plan d'échantillonnage retenu reposait sur la méthode en grille, avec un minimum de dix (10) points de prélèvements.

Le prélèvement des échantillons de sol a été réalisé à l'aide d'une tarière manuelle (Dugain, 1958) jusqu'à une profondeur de 20 cm. Les échantillons collectés ont été placés dans un seau plastique propre. Ils sont soigneusement homogénéisés. Un échantillon composite d'environ 500 g, constitué à partir de la combinaison des sous-échantillons prélevés, a ensuite été placé dans un sachet

plastique étiqueté avant d'être acheminé au laboratoire.

2.5. Analyses des sols

Au total, six échantillons composites ont été analysés au laboratoire pédologique du FOFIFA, situé à Ampandrianomby. Les analyses effectuées relèvent d'une routine pédologique standard. Le pH eau (1 M) a été mesuré sur une suspension de sol dans une solution aqueuse, selon un rapport pondéral de 1:2,5. La matière organique et le carbone organique ont été déterminés par combustion humide suivant la méthode de Walkley et Black (1934), reposant sur l'oxydation de la matière organique par le bichromate de potassium. La teneur en azote total a été évaluée selon la méthode de Kjeldahl (Kjeldahl, 1883), tandis que le phosphore assimilable a été dosé par la méthode d'Olsen (Olsen *et al.*, 1954).

Les bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^{+}) ont été extraites à l'aide d'une solution d'acétate d'ammonium à pH 6. Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} ont ensuite été dosés par spectrophotométrie de flamme, tandis que le Mg^{2+} a également été quantifié par complexométrie à l'EDTA à pH 10. Enfin, l'analyse granulométrique a été réalisée selon la méthode de sédimentation et décantation successives. Cette dernière comprend un traitement à froid et à chaud à l'eau oxygénée pour la destruction de la matière organique, suivi d'un tamisage des fractions grossières (sables grossiers, sables fins et limons grossiers) et de la récupération des particules fines (limons fins et argiles) par la méthode de Robinson.

2.6. Traitement des données

Les données issues de l'inventaire ont été traitées à l'aide du logiciel Sphinx Plus²-V5. L'analyse statistique des fréquences de citation a permis de dégager les espèces les plus mentionnées par la population enquêtée. La fréquence de citation est un indicateur qui exprime la fréquence où les informateurs mentionnent l'espèce donnée. Elle est utilisée pour évaluer la crédibilité des informations collectées. Cet indicateur a été évalué par la formule suivante :

$$FC = \frac{n_i}{N}$$

n_i = nombre d'informateurs ayant cités une espèce

N = Nombre total d'informateurs enquêtés

Les données relatives à la perception paysanne ont été analysées au moyen de statistiques descriptives, en considérant les fréquences relatives des différentes réponses exprimées par les enquêtés.

3. RESULTATS

3.1. Plantes indicatrices des sols riches et pauvres

Les plantes indicatrices des sols fertiles, connues par la population locale sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Plantes indicatrices des sols fertiles

Noms scientifiques	Noms vernaculaire	Noms vernaculaires malagasy	Famille	Taux de réponse (%)
<i>Cynodon dactylon</i>	Chiendent	Fandrotrarana	Poaceae	25
<i>Oxalis latifolia</i>	Trèfle malagasy	Kodiadiamborona	Oxalidaceae	22
<i>Bidens pilosa</i>	Herbe à aiguilles	Anantsinahy	Astéraceae	20
<i>Galinsoga quadriradiata</i>	Galinsoga cilié	Ananjazavavy	Astéraceae	14
<i>Acanthospermum hispidum</i>	Herbe tricorne	Bakakely	Astéraceae	11
<i>Erigeron sumatrensis</i>	Erigeron	Maintsoririna	Astéraceae	9
<i>Centella asiatica</i>	herbe du tigre	Talapetraka	Apiaceae	8
<i>Ludwigia peploides</i>	Jussie rampante	karepoka	Onagraceae	7
<i>Ageratum conyzoides</i>	Roi des herbes	Hanitrinimpatsaka	Astéraceae	7
<i>Stelaria media</i>	Mouron blanc	Anandranokely	Astéraceae	6
<i>Eleusine indica</i>	Renoncule indienne	Tsipihipina	Poaceae	6
<i>Euphorbia prostrata</i>	Euphorbe prostrée	Tsikobona	Euphorbiaceae	6
<i>Vernonia appendiculata</i>	Vernonie	Ambiaty	Astéraceae	5
<i>Sonchus asper</i>	Laiteron épineux	Sitsihona	Astéraceae	5
<i>Amaranthus blitum</i>	Amarante	Anapatsa	Amaranthaceae	5
<i>Stachytarpheta cayennensis</i>	Verveine queue de rat	Rambom-boalavo	Verbenaceae	2
<i>Lactuca indica</i>	Pissenlit racine	Beroberoaka	Astéraceae	1
<i>Thephrosia lyallii</i>	Tephrosia	Avoko	Fabaceae	1
<i>Ficus baronii</i>	Fucus	Amontana	Moraceae	1
<i>Eriocaulon fluitans</i>	Eriocaulon	Volondrano	Eriocaulaceae	1
<i>Claoxylon bakerianum</i>	-	Sevalahy	Euphorbiaceae	1

Durant l'enquête, vingt et une (21) espèces végétales ont été citées comme plantes indicatrices de fertilité des sols dans la Commune Rurale de Soalandy. Ces espèces appartiennent à onze (11) familles botaniques, à savoir : Amaranthaceae, Apiaceae, Asteraceae, Eriocaulaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Moraceae, Onagraceae, Oxalidaceae, Poaceae et Verbenaceae, regroupant vingt et un (21) genres.

La famille des Asteraceae est la plus représentée, avec neuf (9) espèces identifiées. Parmi ces espèces végétales, le chiendent ou fandrotrarana (*Cynodon dactylon*), suivi de l'oseille rampante ou kodiadiamborona (*Oxalis corniculata*) et de l'herbe à moustaches ou de l'herbe à aiguilles ou anantsinahy (*Bidens pilosa*) sont les trois espèces, les plus mentionnées par les enquêtés comme plantes indicatrices de sols pauvres (tableau 1). En ce qui concerne les plantes indicatrices des sols pauvres, les espèces recensées lors de l'enquête conduite dans la Commune Rurale de Soalandy sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2. Plantes indicatrices des sols pauvres

Noms scientifiques	Noms vernaculaire	Noms vernaculaires malagasy	Famille	Taux de réponse (%)
<i>Lantana Camara</i>	Verbenaceae	Radriaka	Sauge sauvage	26
<i>Psiadia altissima</i>	Asteraceae	Dingadingana	Dinga	26
<i>Psidium guayava</i>	Myrtaceae	Goavy	Goyave	24
<i>Arunda donax L</i>	Poaceae		Bambou sauvage	15
<i>Erigeron sumatrensis</i>	Asteraceae	Ahibahiny, Maintsoririnina	Vergerette de Sumatra	15
<i>Acanthospermum australe</i>	Asteraceae	Tangogo lahy	Herbe-savane	10

<i>Helichrysum bracteiferum</i>	Asteraceae	Rambiazina lahy	Hélichryse	9
<i>Cyperus nudicaulis</i>	Cyperaceae	Ahibano	Herbe à chapeaux	8
<i>Cardiospermum halicacabum</i>	Sapindaceae	vahintsokina	Pois de cœur	7
<i>Agave sisalana</i>	Agavaceae.	Taretra lahy	Sisal	7
<i>Duranta erecta</i>	Verbenaceae	Granta	Vanillier de cayennne	6
<i>Vachellia farnesiana</i>	Fabaceae	Mimosa ou tsorofotra	Grand-Acacia de Farnèse	6
<i>Harunga madagascariensis</i>	Hypericaceae.	Harongana	Harungana	6
<i>Gleichenella pectinata</i>	Gleicheniaceae	Ampanga	Fougère calumet	5
<i>Furcraea gigantea</i>	Asparagaceae	Taretra vavy	Aloès vert	4
<i>Leersia hexandra</i>	Poaceae	Tsiriry	Léersie faux riz	4
<i>Panicum umbellatum</i>	Poaceae	Ahipodilahy.	Herbe de pâturage	4
<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae	Tsindahory	herbe à balai	3
<i>Aphloia theaeformis</i>	Aphloiaceae	Voafotsy	Thé	3
<i>Pterocaulon decurrens</i>	Boraginaceae	Ariandro	-	3
<i>Claoxylon bakerianum</i>	Euphorbiaceae	Sevalahy	Claoxylon	3
<i>Philippia floribunda</i>	Ericaceae	Anjavidy	Phillipia	2
<i>Vernonia glutinosa</i>	Asteraceae	Kijejalahy	Vernonie	1
<i>Senna septemtrionalis</i>	Fabaceae	tsotsorinangatra	Séné septentrional.	1
<i>Senna didymobotrya</i>	Fabaceae	Voantainakoho	Cassia popcorn	1
<i>Pennisetum pseudotriticoides</i>	Poaceae	Horompotsy	-	1
<i>Lycopodium cernuum</i>	Lycopodiaceae	Tongotsokina	Patte d'araignée	1
<i>Cymbopogon citratus</i>	Poaceae	Veromanitra	Citronnelle	1

Vingt-huit (28) plantes indicatrices des sols pauvres ont été recensées. Elles se sont réparties dans 17 familles et 26 genres. Les familles les plus représentées sont : les Astéraceae (5 plantes), les Poaceae (5 plantes) ainsi que les Fabaceae (4 plantes). Les trois espèces les plus citées par la population enquêtée comme étant des plantes indicatrices des sols pauvres sont *Lantana Camara* suivi respectivement par *Psiadia altissima* et *Psidium guayava*.

3.2. Paramètres physiques et biologique de l'état de fertilité du sol

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que les indicateurs locaux de la qualité de sols, connus par les paysans sont nombreux (figure 2). Au total, 14 indicateurs physiques et biologiques de l'état de fertilité du sol ont été identifiés par les paysans dont huit (08) indicateurs de bonne fertilité des sols et six (06) indicateurs de sols pauvres.

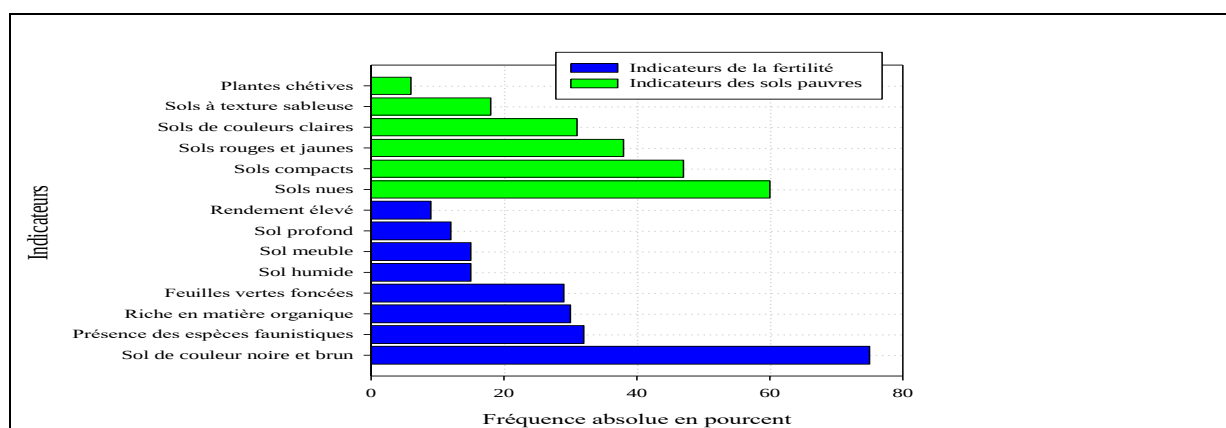


Figure 2. Indicateurs de l'état de fertilité du sol

La population locale mentionne le plus souvent la couleur du sol comme le critère déterminant de la fertilité. Les sols à teinte sombre sont en général plus fertiles (75 %) que les sols ayant une couleur claire (31 %) ou vive (38 %).

L'abondance de la faune du sol et la richesse en matière organique sont reconnues aussi comme des signes de bonne fertilité. Les plantes aux feuilles bien développées et de couleur vert foncé traduisent des sols fertiles, à l'inverse des plantes rabougries et chétives sont associées à des sols dégradés.

3.3. Résultats de l'analyse des sols

Le tableau 3 présente les caractéristiques analytiques des échantillons de sol prélevés sur terrain.

Tableau 3. Caractéristiques physico-chimiques de l'échantillon des sols fertiles

Paramètres	Unités	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Oxalis latifolia</i>	<i>Bidens pilosa</i>
pH eau	-	5,36	5,23	4,60
Carbone	%	1,33	2,84	2,07
Matière organique	%	2,30	4,89	3,57
Azote totale	%	0,12	0,23	0,20
C/N	-	10,60	12,30	10,22
Phosphore assimilable	ppm	12,71	87,89	23,60
Calcium	még/100g	1,36	4,24	1,61
Magnésium	még/100g	1,56	2,00	1,23
Potassium	még/100g	0,19	0,29	0,26
Sodium	még/100g	0,04	0,09	0,01
Capacité d'échange cationique	még/100g	8,20	18,10	12,60
Argile	%	33,00	38,00	41,00
Limon	%	2,00	7,00	5,00
Sable	%	65,00	45,00	54,00

Les sols associés à *Cynodon dactylon*, *Oxalis corniculata* et *Bidens pilosa* présentent une forte acidité. Le sol sous *Cynodon dactylon* se caractérise par une teneur moyenne en carbone et en matière organique, tandis que ceux sous *Oxalis corniculata* et *Bidens pilosa* se distinguent par des teneurs élevées en ces éléments. En revanche, les trois types de sols présentent des teneurs très faibles en azote total. Le rapport C/N demeure néanmoins satisfaisant dans l'ensemble. En ce qui concerne la teneur en phosphore, le sol sous *Cynodon dactylon* est riche en cet élément et les sols de deux autres espèces sont très riches en phosphore.

Le sol associé à *Cynodon dactylon* se caractérise par une faible teneur en bases échangeables ainsi qu'une capacité d'échange cationique (CEC) faible, avec un sol à texture limono-argilo-sableuse. Le sol sous *Oxalis latifolia* présente une fertilité généralement élevée, traduite par des teneurs importantes en calcium et magnésium, une teneur moyenne en potassium, ainsi qu'une CEC moyenne. La texture du sol est argilo-sableuse. Le sol associé à *Bidens pilosa* présente une fertilité globalement satisfaisante. Bien que les teneurs en calcium y soient faibles, les concentrations en magnésium et en potassium demeurent moyennement élevées. La capacité d'échange cationique (CEC) se situe à un niveau moyen, et la texture du sol est de type argilo-sableuse. Le tableau 4 présente les caractéristiques des échantillons de sols prélevés dans les sites où se développent les plantes identifiées par la population enquêtée comme indicatrices des sols fertiles.

Tableau 4. Caractéristiques physico-chimique de l'échantillon des sols pauvres

Paramètres	Unités	<i>Psidium guayava</i>	<i>Psiadia altissima</i>	<i>Lantana camara</i>
pH eau	-	5,07	5,48	4,97
Carbone	%	0,92	0,70	1,41
Matière organique	%	1,58	1,21	2,44
Azote totale	%	0,09	0,06	0,11
C/N	-	9,40	11,20	11,90
Phosphore assimilable	ppm	12,17	9,32	47,53
Calcium	még/100g	0,33	0,52	1,06
Magnésium	még/100g	0,42	0,44	0,68
Potassium	még/100g	0,13	0,20	0,20

Sodium	még/100g	0,00	0,02	0,02
Capacité d'échange cationique	még/100g	17,20	10,10	10,20
Argile	%	58,00	39,00	55,00
Limon	%	12,00	20,00	10,00
Sable	%	30,00	41,00	45,00

Pour l'ensemble, les sols présentent une acidité marquée, variant de fortement acides sous *Psidium guajava* et *Psiadia altissima* à très fortement acides sous *Lantana camara*. La teneur en carbone organique se situe à un niveau moyen, avec des valeurs allant de 0,70 % sous *Psiadia altissima* à 1,42 % sous *Lantana camara*. Une tendance similaire a été observée au niveau de la matière organique.

Les teneurs en azote total sont faibles, et les rapports C/N sont satisfaisants pour l'ensemble. Concernant le phosphore assimilable, les valeurs apparaissent globalement élevées, avec des teneurs moyennes sous *Psiadia altissima*, riches sous *Psidium guajava* et très riches sous *Lantana camara*.

Pour les bases échangeables, les sols sous *Psidium guajava* et *Psiadia altissima* sont caractérisés par une très faible teneur en calcium, tandis que celui sous *Lantana camara* en montre une teneur faible. L'ensemble des sols est déficient en magnésium, en revanche, pour le potassium, seul le sol sous *Psidium guajava* affiche une carence, alors que ceux sous *Psiadia altissima* et *Lantana camara* présentent des niveaux moyens.

La capacité d'échange cationique est moyenne pour tous les sols, avec une valeur maximale enregistrée sous *Psidium guajava* (17,20 még/100 g), contre 10,00 még/100 g sous les deux autres espèces. Enfin, la texture des sols est argileuse, à l'exception du sol sous *Psiadia altissima*, qui possède une texture limono-argileuse.

3.4. Caractéristiques des sites des prélèvements

Pour *Cynodon dactylon*, les échantillons ont été prélevés en bas de versant. Le sol y présente une couleur brun-jaunâtre (10YR 5/4) selon le code de Munsell, un état très sec au moment du prélèvement et un taux de couverture végétale d'environ 25,00 %. Des galeries et fourmis ont été observées sur le site. Pour *Oxalis corniculata*, le prélèvement a été effectué en bas-fond, sur un sol très humide présentant une couleur brun foncé (7,5YR 4/6). Le taux de couverture du sol atteint approximativement 25,00 %, et la présence de galeries a été signalée.

Concernant *Bidens pilosa*, le site de prélèvement se situe sur le bas versant, de couleur gris foncé (5Y 4/1), est humide avec un taux de couverture végétale de 12,00 %. Des galeries ont également été observées.

Selon les paysans, *Psidium guajava* constitue un indicateur de pauvreté des sols. Les échantillons ont été prélevés en bas de versant sur un sol sec, de couleur rouge (2,5YR 4/6), présentant un taux de couverture végétale élevé, de l'ordre de 75,00 %.

Pour *Psiadia altissima*, l'échantillonnage a été réalisé sur un versant de colline. Le sol est caractérisé par une couleur rose (7,5YR 7/4), un état très sec et une couverture végétale limitée (environ 12,00 %). Enfin, *Lantana camara* a été prélevée en bas-fond. Le sol y est sec, avec un taux de couverture végétale de l'ordre de 75,00 %.

4. DISCUSSION

4.1. Analyse des perceptions paysannes des bioindicateurs de la fertilité des sols et leur relation avec les paramètres physico-chimiques.

Cynodon dactylon, *Oxalis corniculata* et *Bidens pilosa* sont perçues par la population enquêtée dans la Commune Rurale de Soalandy comme des espèces indicatrices de la fertilité des sols. *Cynodon dactylon* se développe dans une grande diversité de domaines phytogéographiques, allant des régions tropicales humides aux zones arides (Holm *et al.*, 1977). Toutefois, les conditions les plus favorables à son développement se rencontrent sur des alluvions et des colluvions, correspondant à des terrains relativement frais et situés à proximité de l'eau (Bossier, 1969).

Les sols alluvionnaires sont généralement très fertiles, car ils résultent de dépôts de matériaux sédimentaires transportés par les cours d'eau et sont constitués principalement d'un mélange de sable, d'argile et de limon. Les colluviosols présentent également une fertilité élevée ; ils proviennent de matériaux arrachés aux sols situés en amont des versants et transportés vers l'aval par le ruissellement. Ces observations sont en concordance avec les résultats des analyses physico-chimiques réalisées en laboratoire. En effet, le sol sous *Cynodon dactylon* présente une fertilité moyenne, avec une teneur modérée en matière organique et en carbone, une richesse élevée en phosphore total et un rapport C/N satisfaisant, avoisinant la valeur de 10.

Ces résultats sont en contradiction avec ceux rapportés par d'autres auteurs. L'expérimentation menée par Garcia *et al* (2023) indique que *Cynodon dactylon* est une espèce très tolérante, capable de se développer dans des sols pauvres par rapport aux autres plantes herbacées. Une observation similaire

est rapportée par Andriarisolo (2017), qui souligne que, dans la région Alaotra-Mangoro, *Cynodon dactylon* constitue une plante indicatrice des sols pauvres.

La divergence observée entre ces résultats pourrait s'expliquer par les caractéristiques écologiques de *Cynodon dactylon*. Il s'agit d'une espèce rudérale dotée d'une forte plasticité écologique, lui permettant de s'adapter à une large gamme de conditions environnementales. Son système racinaire profond lui confère une grande tolérance aux stress hydriques, notamment aux inondations et aux périodes prolongées de sécheresse, pouvant atteindre jusqu'à sept mois de déficit hydrique et plusieurs semaines de submersion (Cook *et al.*, 2005).

Ainsi, l'utilisation de *Cynodon dactylon* comme bio-indicateur de la fertilité des sols doit être interprétée avec prudence et complétée par des analyses physico-chimiques et par la prise en compte du contexte agro-écologique local.

Kodidiamborona (*Oxalis latifolia*) constitue la deuxième espèce reconnue par la population locale comme plante indicatrice de la fertilité des sols. Les analyses physico-chimiques réalisées in situ confirment globalement cette perception paysanne. Les résultats montrent que le sol est très riche en éléments nutritifs, ces résultats sont en accord avec ceux de Ugen et Wortmann (2001). Ils rapportent que *Oxalis latifolia* se développe dans des sols ayant une bonne disponibilité en éléments nutritifs. L'état de la surface du sol présente également plusieurs indicateurs de fertilité, notamment la présence de galeries biologiques et une coloration brun foncé du sol (Traoré *et al.*, 2020).

D'après les études antérieures, *Oxalis latifolia* préfère des sols légèrement acides à neutres, avec une texture allant de moyennement à fortement lourde, c'est-à-dire à texture argileuse (Holm *et al.*, 1997), ce qui a été prouvé lors de l'analyse des sols sur place qui a indiqué que le sol sous *Oxalis latifolia* a une texture argilo-sableuse, c'est-à-dire des sols considérés comme moyennement à faiblement lourds. Quoi qu'il en soit, *Oxalis latifolia* peut se développer dans un sol peu fertile, pauvre en matière organique (Holm *et al.*, 1997).

Bidens pilosa constitue la troisième espèce reconnue par près de 20 % de la population enquêtée comme une plante indicatrice de la fertilité des sols. Les analyses physico-chimiques réalisées montrent que les sols associés à la présence de *Bidens pilosa* présentent des teneurs élevées en éléments nutritifs, à l'exception de l'azote.

Ces résultats rejoignent les observations rapportées par plusieurs études antérieures. Selon Husson *et al.* (2010), *Bidens pilosa* est une plante qui se

développe préférentiellement sur des sols riches, en zones humides. Ces caractéristiques écologiques confirment son affinité pour des conditions édaphiques favorables et concordent avec la perception paysanne comme étant une espèce indicatrice de sols fertiles.

La fertilité élevée des sols sous *Bidens pilosa* est expliquée, en partie, par Yan *et al.* (2016), qui indiquent que la présence de cette espèce favorise l'augmentation de la concentration en carbone organique au niveau de la rhizosphère, tout en entraînant une diminution de la concentration en ammonium. Selon ces mêmes auteurs, *Bidens pilosa* influence également les activités enzymatiques du sol, la disponibilité des nutriments ainsi que la structure des communautés microbiennes. Toutefois, d'autres travaux considèrent *Bidens pilosa* comme un indicateur de sols moyennement fertiles (Ngongo & Lunze, 2000). Ces résultats confirment que *Bidens pilosa* indique des sols relativement riches, ou du moins modérément fertiles que des sols pauvres. La perception paysanne des bio-indicateurs de la fertilité des sols, basée sur la présence d'*Oxalis corniculata*, de *Bidens pilosa* et de *Cynodon dactylon*, est donc en accord avec les résultats analytiques des sols au laboratoire.

Quant aux trois plantes indicatrices des sols pauvres, les espèces les plus citées par les paysans, par ordre décroissantes sont *Lantana Camara*, *Psidia altissima* et *Psidium guayava*. Les résultats des sols au laboratoire indiquent que les teneurs en éléments nutritifs sont globalement satisfaisantes. Le taux de matière organique est qualifié de moyen, tandis que les bases échangeables apparaissent légèrement faibles. En revanche, la teneur en phosphore est élevée, élément essentiel jouant un rôle clé dans la croissance et le développement des plantes. Le rapport C/N est conforme aux valeurs de référence, se situant dans l'intervalle compris entre 9 et 12. Dans le cadre de la présente étude, il est égal à 11,9, ce qui traduit un niveau d'équilibre favorable à la minéralisation et à la disponibilité des nutriments.

Les résultats des analyses des sols confirment ceux rapportés par d'autres études antérieures. En effet, *Lantana camara* colonise préférentiellement les friches et les jachères (Houssen, 2010). Cette espèce se développe sur des sols caractérisés par une bonne décomposition de la matière organique, avec un rapport C/N avoisinant le 12, ce qui était le cas rencontré dans la présente étude. Il est aussi associé à un niveau de fertilité relativement élevé (Razanadravao, 1997) et l'espèce présente un faible développement dans les sols perturbés et ne parvient pas à atteindre le stade de la floraison dans ces conditions (Duggin et Gentle, 1998). Les perceptions paysannes dans la Commune Rurale de

Soalandy ne concordent pas avec les résultats rapportés par les auteurs antérieurs ni avec les données physico-chimiques des sols en place. En effet, la confrontation des informations issues de la littérature scientifique et des analyses de terrain montre que *Lantana camara* ne peut être considérée comme une plante indicatrice de sols pauvres.

Selon Perrier (1928), *Psiadia altissima* est une espèce rustique, largement répandue sur l'ensemble de Grande-Île. Elle se développe préférentiellement sur des sols très secs, compacts et pauvres en matière organique ainsi qu'en éléments minéraux. Humbert (1960), avance que *Psiadia altissima* se développent généralement sur les lieux découverts, les lisières de forêts, dans les forêts dégradées (*savoka* en malgache) sur argiles latéritiques et sur les rocaillies siliceuses ce qui est souvent corrélé à des sols pauvres. Ces informations rejoignent avec celles rapportées par la population enquêtée dans la Commune Rurale de Soalandy. Les résultats des analyses de sol le confirment également : à l'exception d'une teneur moyenne en matière organique et en potassium, les autres éléments contenus dans le sol sont faibles, voire très faibles. Dans ce contexte, la perception paysanne considérant cette espèce comme indicatrice de sols pauvres est correcte.

Psidium guajava est une plante rustique, à l'état sauvage, il se développe dans des sols variés. À Madagascar, il se rencontre fréquemment sur les berges des cours d'eau. Les analyses physico-chimiques des sols, couplées aux observations de terrain attestent ces études antérieures.

Les résultats analytiques (tableau 4) montrent que les sols sous *Psidium guajava* présentent une très faible teneur en azote et en calcium, ainsi que pauvre en bases échangeables. La teneur en matière organique est moyenne, tandis que le phosphore apparaît relativement élevé. La texture est fortement argileuse, avec une proportion d'argile pouvant atteindre 58 % (tableau 4). Ces informations indiquent que le sol est peu fertile. Cet état est en relation avec les observations sur terrain. En effet, la surface du sol est sèche, et une quasi-absence d'espèces faunistiques et floristiques est constatée. Par ailleurs, la couleur du sol en place (2,5YR 4/6), correspondant à une teinte rouge prononcée, constitue un indicateur fréquemment associé à des sols dégradés dans le contexte pédologique malagasy.

4.2. Paramètres physico-chimiques et biologiques de l'état de la fertilité des sols connus par les paysans

En ce qui concerne les paramètres physico-chimiques et biologiques de l'état de la fertilité des sols ; la teinte du sol est l'un des critères principaux

pris en compte par les gens pour évaluer la fertilité de leurs sols.

Les sols de couleur foncée ou brune sont majoritairement perçus comme fertiles par près de 75 % des paysans enquêtés. La perception paysanne est justifiée dans la mesure où les sols plutôt sombres sont généralement associés à une teneur élevée en matière organique. Ces résultats corroborent à ceux rapportés par Ouédraogo *et al* (2022) ; Bassolé *et al.* (2023). et M'Biandoun & Olina Bassala (2007). À l'inverse, une couleur plus claire ou plus vive est attribué principalement à la diminution de la teneur en matière organique ou au décapage des horizons humifères par suite de phénomène de l'érosion du sol ou la composition minéralogique du sol (Kissou *et al.*, 2014).

La présence d'espèces faunistiques constitue également un indicateur de la bonne fertilité des sols, selon 32 % des paysans enquêtés. Ces organismes constituent des acteurs clés de la santé des sols d'une manière générale. En effet, la présence de vers de terre (Bünemann *et al.*, 2018, Schon *et al.*, 2023) et d'escargots (M'Biandoun et Bassala., 2007, De Vaufléury *et al.*, 2009) constitue un indicateur d'un sol généralement fertile. Ces organismes sont notamment considérés comme des organismes ingénieurs capables d'améliorer la porosité, l'aération, l'infiltration de l'eau et la stabilité des agrégats du sol et ils se développent préférentiellement dans des sols humides, bien drainés et non engorgés d'eau.

L'absence ou le faible taux de couverture végétale, mentionnée par près de 60 % des enquêtés, est attribué à un sol pauvre en nutriments, surtout celle de la nutrition hydrique, ce qui a été mentionné par Maestre *et al.* (2016), ils rapportent que la disponibilité de l'eau constitue l'un des facteurs limitants des taux de couverture dans des écosystèmes arides.

La présence d'une végétation bien développée, caractérisée par des feuilles de couleur vert foncé, constitue l'un des critères utilisés par les paysans enquêtés dans la commune rurale de Soalandy pour apprécier la fertilité des sols (29 %). Ce constat rejoint les résultats obtenus par Kissou *et al.* (2014), qui soulignent que l'abondance de la végétation et l'état de développement des cultures sont de bons indicateurs de sols fertiles. À l'inverse, la présence de plantes chétives, évoquée par près de 6 % des paysans enquêtés, est perçue comme un indicateur de problèmes de fertilité des sols. Cette situation est fréquemment associée à des sols compacts, mentionnés par 47 % des répondants. En effet, la compaction limite le développement du système racinaire et peut provoquer une asphyxie des racines en réduisant l'aération du sol et la circulation de l'eau et des gaz (Pandey *et al.*, 2021), ce qui compromet la croissance des plantes. Ce phénomène corrobore la perception paysanne selon

laquelle les sols humides (15 %), meubles (15 %) et profonds (12 %) sont considérés comme fertiles, contrairement aux sols nus, compacts et à structure sableuse (18 %), généralement perçus comme pauvres en éléments nutritifs.

Selon 9 % des paysans enquêtés, un rendement élevé constitue un indicateur partiel de la fertilité du sol. À part, la qualité intrinsèque du sol, le rendement dépend également de plusieurs facteurs techniques et technologiques, notamment les pratiques culturales telles que le travail du sol, la quantité et la qualité des engrais et amendements employés, la protection phytosanitaire, l'irrigation, la diversification des cultures, et la période de culture. En effet, les déficits hydriques survenant durant les phases critiques du développement des cultures, chez le riz par exemple, au moment de la floraison entraîne une diminution notable de rendement à la hauteur de 24% (Yang, 2019). De même, la qualité variétale des semences exerce une influence significative sur le niveau de production agricole (FAO, 2013).

5. CONCLUSION

À l'issue de cette étude, les paysans enquêtés ont recensé trente-neuf espèces végétales. Parmi celles-ci, vingt et une sont reconnues comme des indicatrices de sols fertiles, tandis que vingt-huit sont considérées comme des espèces se développant préférentiellement sur des sols pauvres. La confrontation des résultats des perceptions paysannes sur les espèces indicatrices de la fertilité à ceux des analyses de sols en laboratoire indique que, parmi les six espèces de plantes bio-indicatrices des sols pauvres et fertiles, la perception paysanne relative à *Cynodon dactylon*, *Oxalis latifolia*, *Bidens pilosa*, *Psidium guajava*, *Psiadia altissima* est correcte.

Par contre, pour *Lantana Camara*, la perception paysanne n'est pas réellement concluante. En fait, *Lantana camara* se développe dans des sols à bonne fertilité. Les paysans de la commune rurale de Soalandy ont donc une connaissance correcte de leurs sols. Ces connaissances endogènes peuvent être valorisées comme un des outils indispensables pour l'évaluation rapide de l'état de fertilité des sols, en particulier dans les contextes où l'accès aux analyses de laboratoire n'est pas à la portée des bourses de la population locale.

Pour les études ultérieures, l'élaboration d'une base de données intégrant la présence ou l'abondance des espèces indicatrices des sols pauvres ou fertiles, les caractéristiques physiques, biologiques et chimiques des sols et les pratiques agricoles serait proposée. Elle permettrait de développer des modèles prédictifs de la santé du sol. Ces modèles pourraient être construits à l'aide d'approches basées sur l'apprentissage automatique.

Références

- Altieri M. A., Funes-Monzote F. R. & Petersen P., 2012. Systèmes agricoles agroécologiquement efficaces pour les petits exploitants agricoles : contributions à la souveraineté alimentaire. *Agronomie pour le développement durable*, 32, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6>.
- Andriarisolo I.F., 2017. *Gestion conservatoire de sols au niveau de paysage dans les villages d'Ambaiboho, Morarano-Ouest, Antanimafy, Manakambahinikely-Commune Rurale de Morarano Chrome Alaotra*. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Licence en Sciences Agronomiques, Parcours Production Végétale. Ecole Professionnelle Supérieure Agricole de Bevalala, 38 p.
- Bassolé Z., Yanogo I. P. & Idani F. T., 2023. Caractérisation des sols ferrugineux tropicaux lessivés et des sols bruns eutrophes tropicaux pour l'utilisation agricole dans le bas-fond de Goundi-Djoro (Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(1), 247–266. <http://ajol.info/index.php/ijbcs> <http://indexmedicus.afro.who.int>.
- Bosser J., 1969. *Graminées des pâturages et des cultures à Madagascar*. Paris : ORSTOM, Mémoires ORSTOM, n° 35, 440 p.
- Bünemann E. K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R. E., De Deyn G., de Goede R., Flesskens L., Geissen V., Kuyper T. W. Mäder P., Pulleman M., Sukkel W., Van Groenigen J.W. & Brussaard L., 2018. Soil quality—A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Cook B.G., Pengelly B.C., Brown S.D., Donnelly J.L., Eagles D.A., Franco M.A., Hanson J., Mullen B.F., Partridge I.J., Peters M. & Schultze-Kraft R., 2005. *Tropical Forages: An Interactive Selection Tool [CD-ROM]*. CSIRO, Department of Primary Industries and Fisheries (Queensland) [DPI&F (Qld)], Centro International de Agricultura Tropical (CIAT) et International Livestock Research Institute (ILRI), Brisbane, Australia, sans pagination. ID : 3647470 | ISBN : 0643092311.
- De Vaufléury A., Fritsch C., Gimbert F., Pauget B., Cœurdaissier M., Crini N. & Scheiffler R., 2009. Utilisation et intérêts des escargots et des micromammifères pour la bioindication de la qualité des sols. *Étude et Gestion des Sols*, 16(3–4), 203–217
- Dominati E.J., Patterson M.G. & Mackay A.D., 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69(9), 1858–1868. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>
- Dugain F., 1958. Sur les méthodes de prélèvement et de préparation des échantillons de sol. *Fruits*, 13(9–10), 395–400.
- Duggin J.A & Gentle C.B, 1998. Experimental evidence on the importance of disturbance intensity for invasion of *Lantana camara* L. in dry rainforest–open forest ecotones in north-eastern NSW, Australia. *Forest Ecology and Management*, Volume 109, Issues 1–3, 279–292.

- FAO., 2013. *Multiplication et diffusion de semences de qualité des variétés améliorées et adaptées au changement climatique*. Rapport FAO, Réf. ar725f. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 8 pages.
- García S., Guido A., Pezzani F. & Lattanzi F. A., 2023. Invasion strategies of *Cynodon dactylon*: Competitive ability under low-nutrient conditions. *Austral Ecology*, 48(6), 789–801. DOI: 10.1111/aec.13341.wa
- Holm L., Pancho J., Herberger J. & Mulder J., 1977. *A Geographical Atlas of World Weeds*. Wiley-Interscience, New York, 391 p.
- Holm L.G., Doll J., Holm E., Pancho J.V. & Herberger J.P., 1997. *World Weeds: Natural Histories and Distribution*. Ed. John Wiley & Sons Inc. New York. USA, 1129 p.
- Humbert H., 1960. *Flore de Madagascar et des Comores (plantes vasculaires), 189e famille : Composées (Compositae), tome I*. Paris : Muséum national d'histoire naturelle, Laboratoire de phanérogamie, 339 p
- Husson O., Charpentier H., Chabaud F.-X., Naudin K., Rakotondramanana S. & Séguy L., 2010. Les principales plantes des jachères et adventices des cultures à Madagascar (Annexe 1 : Flore des jachères et adventices des cultures). In : *Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Antananarivo : GSDM (Groupement Semis Direct Madagascar)*, 4 MB [PDF]. URL : <https://agritrop.cirad.fr/559335/>.
- Kissou R., Traoré E., Gnankambary Z., Nacro H.B. & Sédogo M.P., 2014. Connaissance endogène de la classification et de la fertilité des sols en zone sud-soudanienne du Burkina Faso. *VertigO – La revue électronique en sciences de l'environnement*, 14 (1), article 14616. DOI : 10.4000/vertigo.14616.
- Kjeldahl J., 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22(1), 366–382. <https://doi.org/10.1007/BF01338151>.
- Lavelle P., Blanchart E., Martin A., Martin S., Spain A., Toutain F., Barois I. & Schaefer R., 1995. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. In: *Soil Management: Experimental Basis for Sustainability*. CAB International, Wallingford, Royaume-Uni, pp. 112–129.
- M'Biandoun M., & Olina Bassala J.-P., 2007. Savoir paysan et fertilité des terres au Nord-Cameroun. *Cahiers Agricultures*, 16(3), 185–197. <https://doi.org/10.1684/agr.2007.0100>
- M'Biandoun M., Guibert H., & Olina J.-P., 2003. Caractérisation de la fertilité du sol en fonction des mauvaises herbes présentes. In : *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*. Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun. Jamin, Jean-Yves (éd.) ; Seiny-Boukar, Lamine (éd.) ; Floret, Christian (éd.). PRASAC ; CORAF ; CIRAD, Montpellier, 20 p
- Maestre F.T., Eldridge D.J., Soliveres S., Kéfi S., Delgado-Baquerizo M., Bowker M. A., García-Palacios P., Gaitán J., Gallardo A., Lázaro R. & Berdugo M., 2016. Structure and functioning of dryland ecosystems in a changing world. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 47, 215–237. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-121415-032311>
- Mahamoud C. M. & Akpo L. E., 2018. Effet des facteurs environnementaux sur la structuration de la flore ligneuse du Karthala (Grande-Comore, Océan indien). *VertigO*, 18(2), 67-76. DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.20211>.
- Ngongo M. & Lunze L., 2000. Espèce d'herbe dominante comme indice de la productivité du sol et de la réponse du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) à l'application du compost. *African Crop Science Journal*, 8(3). DOI: 10.4314/acsj.v8i3.27690.
- Olsen S. R., Cole C. V., Watanabe F. S. & Dean L. A., 1954. *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate* (USDA Circular No. 939). U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C
- Ouédraogo A., Kaboré, F. & Kaboré O., 2022. Perception de la fertilité des sols et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles à Samandéni (Burkina Faso). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(4), 1536–1553. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i4.15>
- Pandey B. K., Huang G., Bhosale R., Hartman S., Sturrock C. J., Jose L., Martin O. C., Karady M., Voesenek L.A.C. J., Ljung K., Lynch J. P., Brown K. M., Whalley W. R., Mooney S. J., Zhang D. & Bennett M. J., 2021. Plant roots sense soil compaction through restricted ethylene diffusion. *Science*, 371(6526), 276–280. <https://doi.org/10.1126/science.abf3013>
- Pansu M., Gautheryou J. & Loyer J.-Y., 1998. *L'analyse du sol : échantillonnage, instrumentation et contrôle*. Paris : Masson, 497 p. ISBN est 2-225-83130-0.
- Perrier de la Bathie H., 1928. Les peuples végétaux à Madagascar. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 8^e année, bulletin n° 77.
- Randriamaromanana H.O.V., 2021. *Caractérisation morphométrique et digitalisation des filières de la tomate (Solanum lycopersicum L), de la carotte (Daucus carota subsp. sativus), de la pomme de terre (Solanum tuberosum) et de la fraise (Fragaria vesca) en culture de contre saison en vue de leur valorisation en industrie agricole et alimentaire dans six (6) Communes Rurales des Districts d'Antananarivo Atsimondrano et d'Ambohidratrimo, Région Analamanga*. Thèse en vue de l'obtention du Diplôme de doctorat en Sciences de l'Ingénieur, Doctorale « Génie des Procédés et des Systèmes Industriels, Agricoles et Alimentaire. Université d'Antananarivo Ecole, 135 p.
- Raous S., King C., Alletto L., Bougon N., Chenu C., Cortet J., Derrien D., Dictor M.C., François Y., Keller C., Perrin A.S., Pousse N., Rémy E., Rennes S., Servain F. & Tournébiz J., 2020. *Recommandations méthodologiques pour le montage de projets collaboratifs entre acteurs de la Recherche et des Territoires*. Rapport du Comité Scientifique Technique et d'Innovation (CSTI) du Réseau National d'Expertise Scientifique et Technique sur les sols (RNEST), 26 p. Doi:10.13140/RG.2.2.35757.82405
- Razanadravao, M. J., 1997. *Étude phytoécologique des savoka dans la réserve de biosphère de Mananara-Nord*.

Mémoire de DEA de Biologie et Écologie Végétales, Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar, 83 p.

Schon N. L., Fraser P. M. & Mackay A. D., 2023. Earthworms for inclusion as an indicator of soil biological health in New Zealand pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 66(3), 208–223. <https://doi.org/10.1080/00288233.2022.2041676>

Taddei A., Fallot A., Thiamal N., Faye A., Thiaw A. P., Faye P., Sène P., Diouf M.-H., Faye, M., Faye L., Faye A., Diatte R., Brouard M., Broutin L., Delay E., Masse D. & Perrotton A., 2024. Les métaphores pour partager les savoirs au sujet des sols : *Atelier sur le rôle de l'arbre et de la jachère*, à Diohine le 25 mai 2023. Dormelles : Cabanera, 28 p. ISBN 978-2-9588210-1-2. HAL : hal-04541570.

Traoré K., Traoré B., Aune J.B., Traoré B., Coulibaly B. & Togo D., 2020. *Caractéristiques physico-chimiques des horizons de surface des sols de décrue à Gory, Dougoubara et Yaguiné, cercle de Yélimané. Dans : N'Diaye, I. et al. (eds.) Adaptation de l'Agriculture et de*

l'Élevage au Changement Climatique au Mali : Résultats et leçons apprises au Sahel. Bamako, Mali. Institut d'Economie Rurale. pp. 131–14.

Ugen M.A. & Wortmann C.S., 2001. Flore des mauvaises herbes et propriétés du sol dans l'Ouganda tropical subhumide, *Weed Technology*, 15(3), 535–543.

Walkley A. & Black I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Yan J., Zhang X.Y., Chen X, Wang Y., Zhang F.J. & Wan F.H., 2016. Effets des micro-organismes du sol de la rhizosphère et des nutriments du sol sur la compétitivité de *Bidens pilosa* avec différentes plantes indigènes. *Biodiversity Science*, 24(12), 1381-1389.

Yang X., Wang B., Chen L., Li P. & Cao C., 2019. The different influences of drought stress at the flowering stage on rice physiological traits, grain yield, and quality. *Scientific Reports*, 9(1), 3742. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40161-0>