



RAPPORT DE STAGE (G/DHD)

ANALYSE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS DE KIANJASOA, D'AMBOHITSAINA ET D'AMBATOBE

ELABORE PAR : RABEFIRAISANA Harimialimalala Jhonny (Doctorant)

ENCADRE PAR : Dr. RAKOTOARISOA Noronirina


Dr RAKOTOARISOA Noronirina V

Année 2014-2015

La recherche au service de la Gouvernance et du Développement Humaine Durable



RAPPORT DE STAGE (G/DHD)

ANALYSE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS DE KIANJASOA, D'AMBOHITSAINA ET D'AMBATOBE

ELABORE PAR : RABEFIRAISANA Harimialimalala Jhonny (Doctorant)

ENCADRE PAR : Dr. RAKOTOARISOA Noronirina

Année 2014-2015

La recherche au service de la Gouvernance et du Développement Humaine Durable

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS	7
GLOSSAIRE.....	8
LISTE DES FIGURES	9
LISTE DES TABLEAUX.....	10
LISTE DES ANNEXES	11
INTRODUCTION.....	1
GENERALITES.....	1
II. 2. Les paramètres physico-chimiques des sols en agriculture sont :.....	2
II. 2. 2. Granulométrie.....	3
II. 2. 3. Les constituants organiques:	3
II. 2. 3. 1. Matières organiques:	4
II. 2. 3. 2. Azote organique:.....	4
II. 2. 3. 3. Eléments échangeables:	4
II. 2. 3. 4. Complexe absorbant:	5
II. 2. 3. 5. Acidité d'échange.....	5
MATERIELS ET METHODES	2
I. Site de prélèvement de sol.....	6
II. Analyse du potentiel d'hydrogène (pH).....	6
II. 1. Principe	6
II. 2. pH eau.....	7
II. 3. Mode opératoire.....	7
III. Analyse de la granulométrie.....	8
III. 1. Principe	8
III. 2. Mode opératoire.....	8
IV. Analyse du carbone organique:.....	9
IV. 1. Principe	9
IV. 2. Mode opératoire	9
V. Analyse de l'azote (Méthode de Kjeldhal).....	10
V. 1. Principe	10
V. 2. Mode opératoire:	10
V. 2.1. Minéralisation de l'azote organique	10

V. 2. 2. Distillation de l'azote.....	10
VI. Eléments échangeables et capacité d'échange cationique.....	11
VI.1. Principe.....	11
VI. 1. 1. Extraction et détermination des éléments échangeables	11
VI. 1. 2. Détermination de la capacité d'échange cationique	11
VII. Analyse du phosphore assimilable (Méthode de Bray II)	11
VII. 1. Principe.....	11
VII. 2. Mode opératoire	12
VII. 2. 1. Préparation des étalons	12
VII. 2. 2. Préparation des échantillons	12
VII. 2. 3. Expression des résultats	12
VIII. Classement d'appréciation de teneur en élément minéral dans le sol d'après Riquier en 1966 [19]	13
IX. Analyse statistique.....	13
RESULTATS	14
DISCUSSION.....	17
CONCLUSION	20
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES.....	20
ANNEXES	
RESUME	

REMERCIEMENTS

Sincèrement au Projet de Renforcement de la Recherche Scientifique pour la Gouvernance et le Développement humain Durable (G/DHD), l'Université d'Antananarivo, l'Université de Fianarantsoa, l'Université d'Antsiranana, le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture (l'UNESCO) qui nous a financés durant notre stage pour la réalisation de ce projet, nos vifs remerciements.

En toute sincérité et honnêteté, je remercie le comité Scientifique, le comité d'Organisation, l'équipe projet G/DHD du CERCOM nous a donné les conseils et instructions nécessaires pour la conduite et la réalisation des travaux malgré ses lourdes responsabilités. Nous vous faisons part de notre grande reconnaissance et de notre profond respect.

Nos vifs remerciements à notre encadreur pédagogique, Pr RATSIMIALA RAMONTA Isabelle pour leurs supports pédagogiques durant ce stage.

Nos vifs remerciements à notre encadreur professionnel, Dr RAKOTOARISOA Noronirina, pour m'avoir accordé sa confiance dans cette étude et pour toute l'aide qu'elle m'a apporté afin de me permettre de mieux cerner le travail à réaliser tout au long du stage.

LISTE DES ABREVIATIONS

A	: Argile
Al	: Aluminium
BI	: Befanova - Ihosy
C	: Carbone organique
Ca	: Calcium
CE	: Conductivité électrique
cm	: centimètre (unité de mesure)
Dr	: densité réelle
E	: Echantillon
g	: gramme (unité de masse)
GDHD	: Gouvernance et le Développement humain Durable
K	: Potassium
KCl	: Chlorure de potassium
L	: Limon
mé	: milliéquivalent (unité)
Mg	: Magnésium
MO	: Matières organiques
MTS	: Mahasolo-Tsiroanomandidy
N	: Azote organique
Na	: Sodium
P2O5	: Phosphore assimilable
pH	: potentiel d'hydrogène
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
S	: Sable (élément granulométrique)
S	: Somme des éléments échangeables (état du complexe absorbant)
T	: Capacité d'échange cationique
V	: Taux de saturation
UNESCO	: Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture
USDA	: United States Department of Agriculture
UV/VIS	: Ultraviolet-Visible
µmho	: micromilliohm (unité)

GLOSSAIRE

Electrode : corps conducteur par lequel le courant arrive ou sort dans un électrolyte.

Distillation : un procédé de séparation de mélange de substances liquides dont les températures d'ébullition sont différentes.

Indicateur : un outil d'évaluation et d'aide à la décision grâce auquel on va pouvoir mesurer une situation ou une tendance, à un instant donné ou dans le temps.

Ion : Atome ou molécule qui a perdu sa neutralité électrique par acquisition ou perte d'un ou plusieurs électrons.

Minéralisation de l'azote organique : elle correspond à la dégradation de la matière organique du sol

Oxydant : substance susceptible de capter un ou plusieurs électrons (composé dont le nombre d'oxydation peut diminuer).

Oxydation : réaction chimique correspond à l'augmentation du nombre d'oxydation.

pH-mètre : un appareil souvent électronique permettant la mesure du pH d'une solution aqueuse.

Réducteur : substance qui donne facilement un ou plusieurs électrons (substance dont le nombre d'oxydation peut augmenter)

Réduction : diminution du nombre d'oxydation.

Solution : ensemble de soluté + solvant

Toxicité : mesure de la capacité d'une substance à provoquer des effets néfastes et mauvais pour la santé sur toute forme de vie.

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Photo d'un pH-mètre.....	7
Figure 2: Photo de cylindre qui contient les éléments granulométriques et bidon réservoir de la solution de Hexamétaphosphate de sodium.....	9
Figure 3 : photo de l'appareil de Kjeldhal.....	11

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : coordonnées géographiques des 3 sites de prélèvement.....	15
Tableau 2 : résultats des analyses de paramètres physico-chimiques des sols à Kianjasoa, Ambohitsaina et Ambatobe.....	16

LISTE DES ANNEXES

Annexes 1- Analyse du potentiel d'hydrogène

Annexes 2- Analyse du granulométrie:

Annexes 3- Analyse du carbone organique

Annexes 4- Analyse de l'azote (Méthode de Kjeldhal)

Annexes 5- Eléments échangeables et capacité d'échange cationique

Annexes 6- Analyse du phosphore assimilable (Methode de Bray II)

INTRODUCTION

Madagascar possède de vastes régions de cultures. Le riz suivi du manioc et du maïs constituent les principales cultures vivrières et de rente de la population malagasy. Cependant, leurs productions diminuent de saison en saison et deviennent insuffisantes et ne couvrent plus ses besoins. Cette diminution est due aux diverses contraintes abiotiques parmi lesquelles le froid, la sécheresse, la pauvreté du sol, et aux contraintes biotiques comme l'attaque du criquet et des plantes parasites dont *Striga asiatica* L. (Kuntze).

Pour éviter l'insécurité alimentaire qui sévit au pays, l'objectif général de notre activité de recherche est de contribuer à l'amélioration de la production des cultures vivrières très consommées à Madagascar par (i) développement de lignées de riz et de maïs productives, précoces tolérantes voire résistantes à *S. asiatica* L. (Kuntze).

Pour ce faire, une expérimentation aux champs sera nécessaire. Pour que les résultats soit pertinentes, plusieurs informations sur les paramètres de suivies sont nécessaire et obligatoire tels que les géotypes de la plante, saison de culture, climat, précipitation, caractéristiques et paramètres physico-chimiques des sols [16]. Ce dernier sera l'objet de la présente étude. L'analyse des sols permet d'obtenir des informations sur le comportement à adopter avec les sols affectés de salinité..., ce qui détermine le type de culture ainsi que le type et la fréquence d'irrigation à pratiquer pour une bonne gestion des eaux. Dans bon nombre de parcelles, les apports d'engrais se font de manière hasardeuse et empirique, aussi, il est vivement recommandé de procéder à une analyse des sols avant d'entreprendre tout projet de culture afin d'éviter les risques de carence entraînant chez les végétaux des malformations, un jaunissement du feuillage, un arrêt de croissance, etc. [10]. L'analyse des sols consiste en un ensemble d'opérations successives physique, chimique, etc. Les plantes ont besoin d'au moins 16 éléments nutritifs essentiels pour accomplir leur cycle de croissance et parmi ceux-ci trois en quantités importantes : l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) [3]. L'azote est l'élément le plus important. Les besoins, c'est-à-dire les quantités d'azote prélevées dans le sol par les plantes, dépendent essentiellement du rendement et de l'espèce [9]. Cependant, avant de développer ces types d'analyses, il est important de passer par la phase cruciale qui est l'échantillonnage et le prélèvement d'échantillons du sol.

Ce travail a été entrepris dans le cadre d'un projet G/DHD, intitulé « Renforcement de la Recherche Scientifique pour la Gouvernance et le Développement humain Durable ». Son objectif est d'analyser les paramètres physico-chimiques des sols à Kianjao, Ambohitsaina et Ambatobe. Pour atteindre cet objectif, le plan général de cet ouvrage comporte quatre (4) parties dont la première concerne les généralités, tandis que la deuxième englobe les matériels utilisés, la description des méthodes du travail ; puis la troisième énonce les résultats obtenus. La quatrième et dernière partie compile les discussions de ces résultats, appuyées par les conclusions et perspectives.

GENERALITES

Cette partie rappelle quelques notions sur le sol et leur paramètre physico-chimique

I. Définitions du sol

Le sol est la formation naturelle de surface, à structure meuble, d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère, sous-jacente sous l'influence de divers processus physique, chimique et biologique [1]. L'agriculture définit le sol comme seulement la partie travaillée, celle dans laquelle il incorpore les amendements et les engrais [4]. En fait, il ne s'agit que de la roche superficielle du sol s'appelant encore terre arable.

Le sol joue un double rôle :

- Le support de la plante : il doit remplir certaines conditions de stabilité d'aération, et de perméabilité.
- La garde à manger de la plante : contiens les substances minérales nécessaires à l'alimentation des végétaux en quantités et en qualités suffisantes.

II. L'analyse de sol

L'analyse de sol est une procédure visant à caractériser la composition et les qualités physicochimiques d'un sol. Cette analyse des sols est une application de la pédologie.

II. 1. Importances

Les analyses sols jouent un rôle de grande importance pour les cultures, elles peuvent être répétées plusieurs fois en cours de végétation notamment pour les cultures maraîchères, elles permettent ainsi d'ajuster la fertilisation, soit en supprimant un apport d'engrais soit en faisant un apport correctif en cours de végétation pour améliorer la qualité du produit pour s'assurer avec précision de la qualité du sol de son eau et de la bonne nutrition de ses plantes, il est indispensable d'effectuer des analyses sols, car pour investir temps et argent l'agriculteur doit être assuré d'avoir une récolte intéressante en qualité et en quantité[7]. Aujourd'hui, le sol est vu et jugé comme une entité vivante, il n'est plus un simple support ou un filtre conditionnant la qualité de l'eau celui qui veut cultiver doit impérativement procéder à une analyse sols afin de connaître le degré de fertilité de sa terre et permettre ainsi une amélioration des cultures[9].

II. 2. Les paramètres physico-chimiques des sols en agriculture sont :

- pH,
- Granulométrie,
- Constituants organiques,

- Les éléments échangeables,
- Le complexe absorbant,
- Phosphore assimilable et aluminium échangeable,
- Densité réelle,
- Conductivité électrique,
- Acidité d'échange,

Le pH (potentiel en Hydrogène) exprimant l'acidité effective, c'est le logarithme négatif de la concentration des ions dans la solution du sol [8].

Tous les éléments du sol sont plus assimilables dans des pH qui s'approchent de la neutralité. Le meilleur exemple est le phosphore. Dans les sols acides, le phosphore se complexifie avec le Fer et devient insoluble. Dans les sols basiques, il se complexifie avec le calcaire. Il peut donc avoir du phosphore dans le sol, mais ce phosphore est non-prélevable. Il devient soluble et donc assimilable dès que le pH est ajusté vers la neutralité. Faire un apport de phosphates sur un sol acide ou basique est donc une perte puisque les phosphates se rétrogradent assez rapidement. Il est impossible de gérer la fertilité chimique d'un sol sans gérer le pH en même temps.

Le pH est donné par la formule : $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$ avec $[\text{H}_3\text{O}^+]$: molarité en ions H_3O^+ exprimée en mol/l.

II. 2. 2. Granulométrie

La granulométrie concerne la détermination du pourcentage des éléments constitutifs (argile, limon, sable) d'un échantillon du sol étudié afin de connaître sa texture [6].

II. 2. 3. Les constituants organiques:

Les constituants organiques renferment à la fois de la matière organique, du carbone et de l'azote avec des proportions qui varient en fonction de leurs états d'évolution [11]

II. 2. 3. 1. Matières organiques:

Les matières organiques sont l'ensemble des substances carbonées provenant de débris végétaux et cadavres animaux [11]. La matière organique est la base de la fertilité du sol c'est-à-dire elle améliore à la fois ces qualités physiques, chimiques et biologiques [5], [6], [8]

Rôles:

- Régularise l'humidité de tous les types du sol en favorisant l'évacuation de l'eau en excès de sol argileux et en augmentant la capacité de rétention en eau de sol sableux [5], [6], [8]
- Améliore les qualités chimiques du sol par sa réaction acide, ses propriétés colloïdales et sa minéralisation continue source d'aliment pour la plante [5], [6], [8]
- Limite le développement de certains parasites [5], [6], [8]
- Augmente l'aération du sol [5], [6], [8]
- Analytiquement, la matière organique du sol est estimée par la teneur en carbone organique, mesurée dans le sol préalablement séché et tamisé à 2 mm, que multiplie un coefficient. (Par convention généralement 1,72).

On a: M.O (%) = Carbone (%) x 1,72 [12]

II. 2. 3. 2. Azote organique:

C'est l'azote incorporé dans les matières organiques végétales ou animales, les bactéries qui dégradent les matières organiques fraîches libèrent l'azote sous forme assimilable par les plantes [11].

Le rapport C/N indique la minéralisation et la décomposition de la matière organique dans le sol [8]

II. 2. 3. 3. Eléments échangeables:

Les éléments échangeables calcium, magnésium, potassium et sodium, sont considérés en général comme représentant des éléments en réserve susceptibles de passer à l'état assimilable par les plantes [8], [14].

Les éléments échangeables peuvent être déterminés après extraction à l'acétate d'ammonium par dosage photométrie de flamme [8]

Les teneurs des éléments échangeables sont exprimées en Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} et Na^{+} [1]

II. 2. 3. 4. Complexe absorbant:

Le complexe absorbant est l'ensemble des forces qui retiennent les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) sur la surface des constituants organiques et minéraux [5], [13]

Ces cations peuvent s'échanger avec la solution du sol et les plantes, et constituent le réservoir de fertilité chimique du sol [5], [13]

L'état du complexe absorbant consiste à l'étude de :

- la somme des éléments échangeables (S),
- la capacité d'échange cationique (T)
- le taux de saturation (V).

Les phosphores assimilables

Les ions phosphores dans la solution du sol sont assimilables par les plantes [8]

II. 2. 3. 5. Acidité d'échange

C'est la quantité de H^+ et Al^{3+} extraite en traitant un échantillon de terre par un sel neutre non tamponné. Cette quantité dépend du sel neutre employé [16]

C'est un indicateur de la quantité totale d'ions susceptibles de générer de l'acidité en solution. Cet indicateur n'est utilisable que pour des sols très acides [16]

MATERIELS ET METHODES

Dans ce chapitre, nous allons déterminer les paramètres physico-chimiques de quelques échantillons de sol.

I. Site de prélèvement de sol

Les sols ont été collectés aux champs de cultures dans deux (2) régions de Madagascar, à savoir : Kianjasoa (région de Bongolava), Ambohitsaina (région Analamanga), Ambatobe (région Analamanga).

Tableau 1 : coordonnées géographiques des 3 sites de prélèvement

Localité	Kianjasoa (Région Bongolava)	Ambohitsaina (Région Analamanga)	Ambatobe (Région Analamanga)
CG			
Latitude	19°03 '20,3"	18°54'52,2"	17°29'36,6"
Longitude	49°22 '62,1"	47°33'08,83'	46°56'33"
Altitude	899 m	1275 m	1231 m

Le prélèvement a été effectué en juillet 2010 - 2011 – 2012. Les sols destinés pour l'analyse ont été prélevés à l'aide d'un cylindre creux de 10 cm de diamètre et de 20 cm de hauteur. Le cylindre a été enfoncé jusqu'au ras du sol pour être complètement rempli dans le but d'obtenir un prélèvement homogène à 20 cm de profondeur. Les différents prélèvements ont été bien mélangés, avant d'être mis dans un sac étiqueté.

II. Analyse du potentiel d'hydrogène (pH)

II. 1. Principe

La différence de potentiel créée entre une électrode en verre et une électrode de référence plongée dans une solution à analyser est une fonction linéaire du pH de celle-ci.

II. 2. pH eau

C'est la mesure de l'acidité d'une suspension de terre dans l'eau, avec un rapport terre par eau normalisée (méthode d'analyse normalisée).

La norme actuelle définit un rapport 1/5 (en volume par volume).

Le pH eau est variable dans le temps.

II. 3. Mode opératoire

-25g de sol séché à l'air et 25ml d'eau distillée ont été mis dans un bêcher de 50 ml.

Le mélange a été agité de temps en temps pendant 30 mn à l'aide d'une baguette de verre.

-Après étalonnage, l'électrode a été introduite avec précaution dans la suspension, et le pH a été lu.



Figure 1: Photo d'un pH-mètre

III. Analyse de la granulométrie

III. 1. Principe

Les différentes particules du sol sont dispersées par une solution diluée de hexamètophosphate de sodium. La détermination de la proportion des sables, des limons et des argiles dans le sol utilise la technique selon la quelle les particules mises en suspension dans un liquide se déposent avec une vitesse V telle que :

$V = \frac{2r^2(DS - DL)}{9n}$: c'est la loi de Stokes

r : rayon des particules supposées sphériques

DS et DL : densités du solide et du liquide

n : viscosité du liquide

Une fraction de terre est dispersée dans l'eau, puis abandonnée à elle-même à un certain temps.

La vitesse de sédimentation étant proportionnelle au carré du rayon des particules.

Les sables se déposent beaucoup plus rapidement que les limons, et les limons beaucoup plus vite que les argiles.

La quantité des particules restantes dans l'eau est mesurée à l'aide d'un densimètre de Bouyoucos.

III. 2. Mode opératoire

- Le sol à analyser a été tamisé (avec un tamis de 2mm d'ouverture)
- 50g de sol séché à l'ombre a été pesé.
- 50ml de hexamètophosphate de sodium à 5% a été mélangé dans 100ml d'eau distillée
- le contenu a été transvasé dans un cylindre de 1 litre
- le cylindre a été bouché et agité pendant 1mn à l'aide de l'agitateur électrique
- à l'aide de l'eau distillée, le volume a été complété jusqu'au trait de jauge
- la solution précédente a été transvasée dans une éprouvette graduée
- Après des repos chronométrés ; le densimètre a été introduit dans le liquide surnageant et la lecture a été faite.



Figure 2: Photo de cylindre qui contient les éléments granulométriques et bidon réservoir de la solution de Hexamètophosphate de sodium.

IV. Analyse du carbone organique:

IV. 1. Principe

Les carbones organiques sont oxydés par un excès d'une solution de bichromate de potassium, en milieu acide. L'excès sera ensuite déterminé à l'aide d'une solution de sulfate ferreux. Les réactions correspondantes seront les suivantes :

IV. 2. Mode opératoire

- 0,5g de sol de diamètre 0,5 mm a été pesé, le poids exact a été noté et transféré dans un erlenmeyer de 500ml.
- 10 ml de bichromate de potassium 1N a été ajouté.
- 20ml d'acide sulfurique concentré a été ajouté rapidement. L'erlenmeyer a été tournoyé et agité vigoureusement pendant 1mn
- 20ml d'eau distillée a été ajouté
- 4 gouttes d'orthophénantroline ont été ajoutées et la solution a été titré avec le sulfate ferreux à 0,5N.

La fin de la réaction s'observe par le virage d'une coloration vert intense au rouge violacé.

Un essai blanc a été fait dans les mêmes conditions.

V. Analyse de l'azote (Méthode de Kjeldhal)

V. 1. Principe

On chauffe la substance avec de l'acide sulfurique concentré qui, l'ébullition, détruit les matières organiques azotées. Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de CO_2 et H_2O , l'azote transformé en ammoniacque est fixé par l'acide sulfurique à l'état de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

K_2SO_4 permet d'élever la température d'ébullition de H_2SO_4 jusqu'à 430°C . CuSO_4 sert de catalyseur NH_3 est en suite déplacé par une solution d'hydroxyde de sodium, entraîné à la vapeur et fixé à l'état de borate, lequel est dosé par une solution titrée d'acide sulfurique.

V. 2. Mode opératoire:

V. 2.1. Minéralisation de l'azote organique

Dans un tube de digestion, 1g de sol à 0,5 mm de diamètre, un catalyseur de minéralisation et 10 ml d'acide sulfurique concentré ont été introduits successivement. Le mélange ont été chauffés (environ 430°C) pendant 30 mn. Après refroidissement, le contenu du tube de digestion ont été traverser dans une fiole de 50 ml et ajusté au trait de jauge avec de l'eau distillée.

V. 2. 2. Distillation de l'azote

Dans l'appareil à distillation, 10 ml de la prise d'essai avec 10 ml de la solution de soude a été introduit. Le distillat a été recueilli dans un erlenmeyer de 125 ml contenant 20 ml de la solution d'acide borique. Le dosage a été avec la solution d'acide sulfurique.

Un témoin est préparé dans les mêmes conditions.

Expression des résultats :

Soient :

V_a le volume de la solution d'acide sulfurique versé pour l'échantillon

N sa normalité

V_o le volume de la solution d'acide sulfurique versé pour le témoin

La quantité d'acide pour neutraliser la solution sera : $V = V_a - V_o$

L'équivalence de l'azote Kjeldahl dans la prise d'essai est égale à : $N \times V$

Soit dans la solution à analyser : $N \times V \times 50 / 10$

Comme la masse d'un milliéquivalent d'azote étant 14 mg, la quantité d'azote dans 1g de sol sera ; $(N \times V \times 50 / 10) \times 14 \times 10^{-3} \text{g}$

Dans 100g de sol, la quantité de N Kjeldahl sera :

$$N = \left(\frac{N \times V \times 50}{10} \right) \times 14 \times 10^{-3} \times 100 \text{ g}$$

Comme $N = 0,01N$, alors : $N\% = V \times 0,07$



Figure 3 : photo de l'appareil de Kjeldhal

VI. Eléments échangeables et capacité d'échange cationique

VI.1. Principe

VI. 1. 1. Extraction et détermination des éléments échangeables

On met en contact le sol avec une solution molaire et neutre d'acétate d'ammonium. Les cations basiques échangeables sont extraits dans la solution, tandis qu'une partie de NH_4^+ est adsorbée par le sol. Les cations basiques ainsi extraits sont ensuite déterminés à l'aide du spectromètre d'absorption atomique.

VI. 1. 2. Détermination de la capacité d'échange cationique

Après l'extraction des éléments échangeables, le sol est saturé de NH_4^+ . On enlève les sels d'ammonium libre, puis on procède à l'extraction de NH_4^+ ainsi adsorbé par une solution molaire de NaCl. L'ammoniaque sera ensuite déplacée en milieu alcalin, puis entraîné par la vapeur d'eau. Le dosage volumétrique est effectué sur le distillat.

VII. Analyse du phosphore assimilable (Méthode de Bray II)

VII. 1. Principe

Les phosphates donnent un complexe phosphomolybdique en présence de molybdate d'ammonium, en milieu acide. Après une réduction par une solution de chlorure stanneux, ce complexe développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique.

VII. 2. Mode opératoire

- 2g de sol à 2 mm de diamètre a été pesé dans une bouteille nalgène de 125 ml.
- 14 ml de la solution extractante a été ajouté et agité rigoureusement pendant 1 mm.
- Le mélange a été filtré avec un papier filtre Watman n°42. Le filtrat ainsi obtenu contient le phosphore assimilable contenu dans l'échantillon de sol.

VII. 2. 1. Préparation des étalons

1 ml de la solution standard de 1 ppm de P, 2 ml de la solution extractante, 4 ml d'eau distillée, 2 ml de la solution de molybdate d'ammonium et 1 ml de la solution diluée de chlorure stanneux ont été mises dans un tube à essai. Le contenu du tube à essai a été vortéxé. Répéter les mêmes opérations avec les autres solutions standards de phosphore.

VII. 2. 2. Préparation des échantillons

2 ml de filtrat, 5 ml d'eau distillée, 2 ml de la solution de molybdate d'ammonium et 1 ml de la solution diluée de chlorure stanneux ont été mis dans un tube à essai.

Le contenu du tube à essai a été homogénéisé. Un essai à blanc été faite.

Les mesures au spectromètre UV/VIS à la longueur d'onde de 660 nm ont été effectuées après 20mn.

VII. 2. 3. Expression des résultats

Avec un facteur multiplicatif de 3,5 l'appareil donne la teneur en phosphore assimilable de l'échantillon de sol.

VIII. Classement d'appréciation de teneur en élément minéral dans le sol d'après Riquier en 1966 [19]

Azote N (%):

N(%) < 0,05 très pauvre
0,05 < N(%) < 0,1 pauvre
0,1 < N(%) < 0,15 moyen
0,15 < N(%) < 0,25 riche
> 0,25 très riche

Phosphore P (ppm):

P (ppm) < 2,5 très pauvre
2,5 < N(%) < 5 pauvre
5 < N(%) < 10 moyen
10 < N(%) < 25 riche
> 25 très riche

Carbone organique C(%):

C(%) < 0,3 très pauvre
0,3 < C(%) < 0,6 pauvre
0,6 < C(%) < 1,0 moyen
1,0 < C(%) < 3,0 riche
C(%) > 3,0 très riche

Rapport carbone et azote:

C/N

C/N < 10 trop faible
C/N < 10 – 20 satisfaisant
C/N > 20 trop fort

Potassium K (még/100g)

K (még%) < 0,1 très pauvre
K (még%) 0,1 à 0,2 pauvre
K (még%) 0,2 à 0,4 moyen
K (még%) 0,4 à 0,8 riche
K (még%) > 0,8 très riche

IX. Analyse statistique

Toutes les données obtenues sont exprimées en moyenne et traitées par l'analyse de variance (ANOVA) avec le Logiciel R. Cette analyse détermine la variation des observations de ces différents traitements. Le test de significativité est celui de la distribution de Fischer ou « F test » au seuil de probabilité de 5%.

RESULTATS

Les différents résultats obtenus au cours des différentes étapes de méthodes de travail sont énoncés dans cette partie sur :

- la détermination du pH de l'eau
- la quantité d'azote
- la quantité du phosphore
- la quantité carbone
- le rapport carbone azote
- la quantité du potassium
- la granulométrie

Tableau 2: résultats des analyses de paramètres physico-chimiques des sols à Kianjasoa, Ambohitsaina et Ambatobe.

Localité	pH eau	Azote(%) (N)	Phosphore (ppm) (P)	Carbone % (C)	Carbone/Azote (C/N)	Potassium(K) (méq/100g)	Granulométrie (%)		
							Argile	Limon	Sable
Kianjasoa (2010)	5,45 a (Fortement acide)	0,161 b (riche)	55,4 a (très riche)	2,13 b (riche)	13,2 a (satisfaisant)	0,743 b (riche)	19 b	12 a	69 b
							Limonosableux		
Kianjasoa (2011)	5,56 a (Fortement acide)	0,189 b (riche)	63,5 a (très riche)	2,16 b (riche)	11,4 a (satisfaisant)	0,598 b (riche)	19 b	14 a	67 b
							Limonosableux		
Kianjasoa (2012)	5,50 a (Fortement acide)	0,159 b (riche)	55,7 a (très riche)	2,10 b (riche)	13,2 a (satisfaisant)	0,748 b (riche)	19 b	11 a	66 b
							Limonosableux		
Ambatobe(2010)	5,91 b (Moyennement Acide)	0,084 a (pauvre)	34,3 a (très riche)	1,06 a (moyen)	12,6 a (satisfaisant)	0,079 a (très pauvre)	21 c	25 c	54 a
							Limon-argilo-sableux		

Tableau 2 (suite): résultats des analyses de paramètres physico-chimiques des sols à Kianjasoa, Ambohitsaina et Ambatobe.

Localité	pH eau	Azote(%) (N)	Phosphore (ppm) (P)	Carbone % (C)	Carbone/Azote (C/N)	Potassium(K) (méq/100g)	Granulométrie (%)		
							Argile	Limon	Sable
Ambatobe(2011)	5,89 b (Moyennement Acide)	0,086 a (pauvre)	34 a (très riche)	1,03 a (moyen)	11,9 a (satisfaisant)	0,081 a (très pauvre)	22 c	25 c	54 a
							Limono-argilo-sableux		
Ambatobe(2012)	5,90 b (Moyennement Acide)	0,083 a (pauvre)	34,7 a (très riche)	1,05 a (moyen)	12,6 a (satisfaisant)	0,077 a (très pauvre)	21 c	26 c	55 a
							Limono-argilo-sableux		
Ambohitsaina (2010)	5,79 b (Moyennement Acide)	0,098 a (pauvre)	58,5 a (très riche)	1,34 a (moyen)	13,6 a (satisfaisant)	0,575 a (riche)	15 a	14 b	71 c
							Limono-argilo-sableux		
Ambohitsaina (2011)	5,80 b (Moyennement Acide)	0,095 a (pauvre)	59,2 a (très riche)	1,4 a (moyen)	14,7 a (satisfaisant)	0,601 a (riche)	15 a	15 b	70 c
							Limono-argilo-sableux		
Ambohitsaina (2012)	5,82 b (Moyennement Acide)	0,096 a (pauvre)	58 a (très riche)	1,36 a (moyen)	14,1 a (satisfaisant)	0,620 a (riche)	16 a	15 b	70 c
							Limoneux très sableux		

* Les valeurs moyennes dans la colonne, suivies par une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de 5 % (test LSD).

Ce tableau montre que sur chaque localité, les résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques ne sont pas statistiquement significatifs au seuil de 0,05. Les valeurs obtenues sur l'analyse de sol prélevée en 2009 – 2010 – 2011 pour chaque localité sont presque les mêmes. Entre chaque localité, la différence entre les moyennes des paramètres physico-chimiques sont statistiquement significatives au seuil de 0,05 sauf dans le paramètre P et le C/N. -le sol de Kianjasa admet un pH en eau fortement acide relativement inférieur comparé à celles d'Ambohitsaina et Ambatobe qui sont moyennement acides. Même pour la quantité en azote, en carbone et en potassium. Les 3 localités ne possèdent pas le même taux en granulométrie, les moyennes sont statistiquement significatives au seuil de 0,05.

DISCUSSION

Le sol de Kianjasoa admet un pH en eau fortement acide relativement inférieur comparé à celles d'Ambohitsaina et Ambatobe qui sont moyennement acides. L'acidité du sol est régie par la quantité de cations (H⁺) qui sont fixés sur le complexe argilo-humique ou en mouvement dans la solution du sol [10]. Elle influence directement l'assimilabilité des éléments nutritifs par le couvert végétal et joue à ce titre un rôle fondamental dans la rentabilité de la culture [15]. Les sols ont une tendance naturelle à l'acidification, c'est-à-dire au remplacement sur le complexe des cations minéraux par des ions H⁺. Or ce phénomène est accentué par l'action de certains engrais (phosphate, nitrate, ammoniacale). Le pH idéal varie selon la nature du sol et la culture, on cherche en règle générale à obtenir une légère acidité qui est alors favorable à l'assimilation [10]. Le sol de Kianjasoa est riche en teneur en azote, tandis que celles d'Ambohitsaina et Ambatobe sont pauvres. Les teneurs en azote changent constamment à cause de nombreux facteurs, dont la température du sol (à cause de l'activité microbienne); la teneur en humidité du sol ; l'apport d'azote et le moment de son application la saison précédente (ce qui reste après la culture de la saison dernière, moins les pertes dans l'atmosphère ou à cause du lessivage) et la saison en cours ; la culture de couverture (qui prélève l'azote en automne, la libère au printemps en se décomposant); la culture précédente ou la culture de couverture (légumineuses ou autres); les teneurs en matières organiques ; les propriétés du sol [10]. Le sol de 3 localités est riche en phosphores. La minéralisation des résidus végétaux sous l'effet de l'activité microbienne augmente la teneur du sol en phosphore assimilable [1], [5]. Toutes les formes de phosphore peuvent aussi être modifiées par l'apport d'engrais phosphatés ou de fumiers [10]. La teneur en carbone dans le sol de Kianjasoa est relativement supérieure à celle d'Ambohitsaina et d'Ambatobe, qui est bien pourvu en matière organique et offrira donc un milieu bien plus favorable au développement des cultures et moins sensible aux aléas climatiques [5], [6], [12]. En effet, l'acidité du sol peut être due à la présence des acides organiques issus de certains types d'humus du sol [2], [5], [6], [8]. Le rapport C/N du sol de Kianjasoa-Ambohitsaina, Ambatobe montrent qu'il y a une bonne décomposition du sol comparé. Ces résultats nous permettront alors de conclure que le sol de Kianjasoa-Tsiroanomandidy est propice à la culture du riz, de maïs. Les flux de carbone entre l'atmosphère et le sol, via la végétation, sont affectés par de nombreux facteurs entraînant des évolutions plus ou moins rapides [1] [16]. Ces facteurs sont d'origine naturelle (climat et type de sol) ou anthropique (type d'occupation du sol, travail du sol, gestion des résidus de culture, apports de matières organiques, cultures intermédiaires, etc.) [8], [3]. Certains de ces facteurs peuvent être identifiés comme des leviers permettant d'augmenter les stocks de carbone des sols [1]. La teneur en potassium dans le sol de Kianjasoa et d'Ambohitsaina sont relativement riches à celui d'Ambatobe qui est très pauvre. Cette faible teneur en potassium n'a pas d'effet sur le sol et sur la culture [17]. Par conséquent, nous assistons alors à une débasification quasi-généralisée du complexe argilo-humique des sols d'Ambatobe [8]. Ce qui pourrait expliquer le caractère moyennement acide des sols de d'Ambatobe (pH eau 5,83). Dans les sols difficiles, riches en

mica, a taux de potassium assimilable très bas, on évitera l'implantation de cultures a faible capacité d'absorption du potassium peu disponible [6], [2]. Par une même dose de potassium applique, le potassium assimilable du sol selon Dirks et Scheffer est influencé différemment selon le type de sol [8] [18]. Dans les sols a forte capacité d'échange des cations, le potassium assimilable augmente très peu alors que dans les sols a faible capacité d'échange l'augmente fortement [10]. Les variations du potassium assimilable du sol sont en corrélation avec la capacité d'échange des cations dans la mesure du potassium du sol est entretenu par une dose plus ou moins égale à celle de l'exportation [1]. L'échelle d'appréciation du potassium du sol selon Dirks et Scheffer peut être modifiée dans la mesure où le type de sol est défini par une capacité d'échange des cations [8]. Dans chaque localité de prélèvement, les variations de la teneur en argile, en limon et en sable sont aléatoires. Ces variations pouvant être liées à l'altération intense des minéraux primaires et aux activités des microfaunes dont le rôle dans le malaxage des principaux constituants du sol s'y révèle important [5], [4].

**CONCLUSIONS
ET
PERSPECTIVES**

Les analyses chimiques nous ont permis d'évaluer les teneurs en macro-éléments des sols avant la fertilisation et d'en déduire les caractéristiques de sols ferralitiques afin d'établir une correction adéquate par la fertilisation.

Les sols ferralitiques sont de nature acides; l'apport de NPK et des intrants organiques augmentent les réserves en éléments nutritifs disponibles pour les plantes (carbone organique, phosphore Olsen, potassium et sodium échangeable) dans le sol. La biodisponibilité du phosphore est favorisée dans le cas où la fertilisation est essentiellement constituée de phosphore organique, et dépend de l'activité microbienne, de la nature des textures et de structure du sol.

L'analyse granulométrique du sol, complétée par d'autres analyses de caractérisation du sol permet de caractériser le sol et de comprendre son fonctionnement.

La répartition des différentes fractions granulométriques permet de classer le sol dans une classe de texture, qui définit certains paramètres de comportement physiques, de rétention en eau utile, de capacité à stocker les éléments fertilisants, de risques de pertes par lessivage... Ces résultats obtenus permettent de compléter les informations de nos données sur la sélection de lignées mutantes de riz et de maïs tolérantes à *Striga asiatica* L.(Kuntze).

A partir des résultats obtenus, il est envisageable de réaliser de culture de céréales à grandes échelles dans la région de Bongolava dans le cadre de développement de lignées de riz et de maïs productives, précoces tolérantes voire résistantes à *Striga asiatica* L. (Kuntze).

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
ET WEBOGRAPHIQUES**

- [1]: R. FAUCK, 1972. « Contribution à l'étude des sols des régions Tropicales : Les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique occidentale »
- [2] : M. SOURDAT, 1973. « Carte pédologiques de Tuléar- Ambohimahavelona à 1/100.000 », cah.ORSTOM
- [3] : M. SOURDAT, 1998. « Cartes pédologiques de Antseva à 1/100.000 »,
- [4] : J. HERVIEU, 1960. « Notices sur les cartes d'utilisation des sols, les sols plaine de Morondava », IRSM, ORSTOM pedol sol, Carte.
- [5] : BOURGEAT, 1972 « Contribution à l'étude des sols sur socle cristallin à Madagascar : en particulier dans le Moyen-Ouest ».
- [6] : RANDRIANAMPY J., 1997 « Contribution à l'étude de l'aménagement des sols du secteur de Mahasolo », mémoire de D.E.A..
- [7] : Institut de Recherche Agronomique à Madagascar (IRAM), 1963. « Etudes des sols a vocation coton-culture sèche dans le Sud-ouest de Madagascar ».
- [8]: I.P. DOKOUTCHAEV, 1875. Vol 26, p 235-326.
- [9] : www.usda.gov/-
- [10] : MEMENTO de l'AGRONOME, 1993. « Référence d'interprétation pour un sol Tropical ».
- [11]: [fr. Wikipedia. Org/ wiki /_ Matière organique](http://fr.wikipedia.org/wiki/_Matière_organique)
- [12]: J. ROUSSEAU, 1973. « Méthodes d'Analyses Chimiques : Analyse des Sols ».
- [13]: [www. Cnrtl. Fr/ lexicographie/ complexe](http://www.Cnrtl.Fr/lexicographie/complexe)
- [14]: [www. graduate school. Agroparis tech. fr/ site.php?id=28 & fileid](http://www.graduate.school.Agroparis.tech.fr/site.php?id=28&fileid)
- [15] : LOYER (J-Y), JACQ (V-A), REYNAUD (P.), 1982. « Variation physico-chimiques dans un sol de rizière inondée et évolution de la biomasse algue et des populations microbiennes du cycle du soufre », Cah. ORSTOM, série Biol., n°45.
- [16] : [http:// www.comifer.asso.fr/ publication / Blois indicateurs.PDF](http://www.comifer.asso.fr/publication/Blois_indicateurs.PDF).
- [17]: [http: // www. lano.fr](http://www.lano.fr).
- [18]: [www. eumetcal. Org. UK/ euromet/ courses/.../ actualde. Htm](http://www.eumetcal.Org.UK/euromet/courses/.../actualde.Htm)
- [19]: Riquier, J. 1966. Définition et classification des sols ferrallitiques de Madagascar. Cahier OROSTOM. Série Pédologie 4(4) : 75-88

ANNEXES

Annexes 1- Analyse du potentiel d'hydrogène

Appareillage et réactifs:

- pH-mètre
- Bécher de 50 ml
- Solution tampon pH= 4 et pH = 7
- Eau distillée

Annexes 2- Analyse du granulométrie:

Matériels et réactifs utilisés:

- Tamis de 2mm d'ouverture.
- Bécher
- Eprouvette graduée
- Cylindre
- Densimètre de Bouyoucos gradué avec Thermomètre.
- Agitateur électrique.
- Chronomètre
- Solution de hexamètophosphate de sodium 5 %.
- Eau distillée

Annexes 3- Analyse du carbone organique

Réactifs utilisés:

- Bichromate de potassium 1N
- Acide sulfurique concentré (à 50%) : 20 ml par échantillon
- Sulfate ferreux 0,5N ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) :
- 15 ml de H_2SO_4 concentré ont été ajoutés et le volume a été complété jusqu'à 1 litre avec de l'eau distillée.
- Complexe ferreux-ortho-phénantroline 0,025M : 1,485 g d'orthophénantroline monohydrate

(C₁₂H₈N₂, H₂O) et 0,695 g de (FeSO₄ ; 7H₂O) ont été dissouts dans l'eau distillée et le volume à été complété jusqu'à 100 ml.

Annexes 4- Analyse de l'azote (Méthode de Kjeldhal):

Réactifs utilisés:

- Acide sulfurique concentré (H₂SO₄)
- Catalyseur de minéralisation Kjeldhal : mélange de 3,5g de sulfate de potassium (K₂SO₄) + 0,4g de sulfate de cuivre II (CuSO₄, 5 H₂O) par échantillon.
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH 10N)
- Solution d'acide sulfurique (0,01N)
- Indicateur mixte : dissoudre 0,0495 g de vert de bromocrésol et 0,033 g de rouge de méthyle dans 50 ml d'éthanol.
- Solution d'acide borique H₃BO₃ (2%) : dans une fiole jaugée de 2 litres, 40g de H₃BO₃ a été dissout dans 1800 ml d'eau distillée. Ensuite 40 ml de la solution de l'indicateur mixte a été ajouté. Le volume a été mélangé et ajusté avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

Annexes 5- Eléments échangeables et capacité d'échange cationique:

Réactifs utilisés:

- Acétate d'ammonium (CH₃COO NH₄ 1M): 77, 08 g d'acétate d'ammonium a été pesé et le dissout dans de l'eau distillée à 1 litre.
- Ethanol 60%
- Solution de NaCl 1M : 68,5g de NaCl a été dissout dans 1 litre d'eau distillée, et conservé dans une bouteille en verre de 1 litre.
- Solution d'hydroxyde de sodium 10N.
- Solution d'acide sulfurique 0,01N.
- Indicateur mixte : 0,0495g de vert de bromocrésol et 0,033g de méthyle ont été dissouts dans 50 ml d'éthanol.
- Solution d'acide borique H₃O₃ (2%) : dans une fiole jaugée de 2 litres, 40g a été dissout dans 1800 ml d'eau distillée. Ensuite 40 ml de la solution de l'indicateur mixte a été ajouté. le volume a été mélangé avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

Annexes 6- Analyse du phosphore assimilable (Methode de Bray II) :

Réactifs:

- NH_4F (1N) : 37g de fluorure d'ammonium avec de l'eau distillée ont été dissouts et le volume a été complété à 1 litre en utilisant une fiole jaugée de 1 litre. Cette solution a été stocké dans une bouteille en polyéthylène.
 - HCl (2N) : 80,8ml de HCl concentré a été dilué avec l'eau distillée pour avoir un volume total de 500ml
 - Solution extradante : 15ml de fluorure d'ammonium 1N et 25ml de HCl (2N) ont été ajoutés dans 460 ml d'eau distillée .Cette solution nous donne 0,03N de fluorure d'ammonium et de 0,1N de HCl .
 - ($\text{SnCl}_2, 2\text{H}_2\text{O}$) concentré ; 10g de chlorure stanneux a été dissout dans 25ml de HCl concentré et stocké dans une bouteille à compte goutte sombre pendant 6 semaines
 - Molybdate d'ammonium : 15g de paramolybdate d'ammonium dans a été dissout 350 ml d'eau distillée. Y ajouter lentement 290 ml de HCl 2N en agitant. Refroidir et compléter le volume à 1 litre avec de l'eau distillée.
cette solution a été stocké dans une bouteille en verre sombre pendant 2 mois.
 - Solution diluée de SnCl_2 : 3 gouttes de chlorure stanneux concentré a été dilué dans 50ml d'eau distillée .Cette solution est à renouveler toutes les 2 heures.
 - Solution mère étalon de P 100 ppm : 0,2129g de KH_2PO_4 séché a été dissout à l'étuve à 110°C dans de l'eau distillée. Le volume a été à 500 ml en utilisant une fiole de 500 ml.
 - Solution fille étalon de 10 ppm : 10 ml de la solution mère étalon de 100 ppm été mis dans une fiole de 100 ml. De l'eau distillée a été ajouté jusqu'au trait de jauge.
 - Solutions standards : 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm et 5 ppm.
- A partir de la solution fille de P 10 ppm, 2,5 ml, 5 ml, 7,5 ml on été mis respectivement et 12,5 ml dans 4 différentes fioles jaugées de 25 ml portant chacune leur référence, de l'eau distillée a été ajouté jusqu'au trait de jauge.

RESUME

Les analyses de sols constituent un moyen pour déterminer les doses de fertilisants optimales à utiliser pour une culture donnée dans un champ précis. Ce stage nous a permis d'observer que les sols dans la région de Bongolava à Kianjasoa est fortement acide ($5,45 < \text{pH} < 5,56$) tandis que dans la région d'Analamanga (Ambohitsaina et Ambatobe) est moyennement acide ($5,79 < \text{pH} < 5,91$). Quant à la texture, on assiste à une prédominance de sols limono-sableux à Kianjasoa, limono-argilo-sableux à Ambatobe et de sols limoeux très sableux à Ambohitsaina. Ce qui signifie que les divers types de sols rencontrés dans chaque localité étudiés sont différents. Sur le plan agronomique, une carence remarquable en potassium est observée sur le sol d'Ambatobe ($K < 0,1\text{még}/100\text{g}$), et une carence en azote se manifeste dans le sol d'Ambohitsaina et d'Ambatobe ($< 0,1\%$). Le sol de Kianjasoa est favorable aux cultures des céréales après correction du pH.

Mots clés : pH, matières organiques, éléments échangeables, phosphore, sol.