

Recherche en vue de l'amélioration de la productivité des sols et des rendements de récolte sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar par la fertilisation et l'amendement avec des broyats de roches
RANDRIAMBOAVONJY Jean Chrysostome (1), RANDRIANJA Roger (2), Murielle
RAMBOAZANAKA (3).

1 : Professeur au Département des Eaux et Forêts –Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques -Université d'Antananarivo

e-mail : jc.randriamboavonjy@gmail.com

2 : Professeur titulaire- Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo- Université d'Antananarivo

e-mail : rgr.rand@gmail.com

3 : Assistante d'enseignement supérieur au Département Elevage- Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques -Université d'Antananarivo

e-mail : myrampanarivo@yahoo.com

RESUME

Face à la faible productivité des sols ferralitiques anciens caractérisés par une acidité élevée et une faible capacité d'échange et de stockage d'éléments minéraux, des études de fertilisations adaptées, utilisant en particulier les ressources locales s'avèrent nécessaires pour un meilleur rendement agricole. Ce dernier constitue une base de départ de l'amélioration des niveaux de vie de la population et du développement en milieu rural à Madagascar.

A cet effet, des expérimentations avec des plants de maïs utilisant de l'azote dans la fertilisation et de haricot en absence d'apport d'azote ont été menées. Les fertilisants utilisés comprennent :

- des fertilisants de synthèse pour apporter les éléments majeurs dont l'azote pour la présente étude,
- des poudres de dolomie pour l'apport de calcium et de magnésium et pour relever le pH,
- des poudres d'os pour l'apport des phosphates et de calcium avec remontée de pH,
- des poudres de roches (basalte, gabbro, schiste) pour l'apport de calcium, magnésium et potassium,

Des dispositifs statistiques en particulier en blocs complets randomisés ont été adoptés pour tester les effets des différents fertilisants utilisés.

Les résultats obtenus ont permis d'émettre les conclusions suivantes :

- l'absence d'un seul élément fertilisant (Phosphore, Potassium, Calcium, Azote et Magnésium) ne permet pas d'obtenir des récoltes. C'est la loi du facteur limitant de Liebig.

-les phosphates naturels (cas de l'os pour le cas présent, faute de pouvoir procurer des phosphates de roche) permettent un rendement croissant en fonction de la quantité de poudre apportée car les sols manquent de phosphore et de calcium.

-les roches broyées seules (basalte, schiste, gabbro) n'ont pas d'effet sur la production. Elles le sont si elles sont utilisées en mélange avec de l'azote et du phosphore.

Ces résultats sur le rendement des récoltes concordent bien avec les expériences sur l'étude de l'altération des plaques polies, des grains de roches et d'os ; il y a une dissolution des minéraux porteurs des éléments chimiques utiles à la plante. Aussi, la fertilisation et l'amendement par des broyats de roche sont possibles et l'on devrait approfondir davantage les effets en fonction des types de roches, des quantités apportées et de la taille des particules.

L'obtention des récoltes de produits agricoles reste possible même si les conditions pédologiques et climatiques sont très difficiles moyennant des fertilisations adaptées. En particulier, pour les sols ferralitiques acides et appauvris chimiquement, aucun rendement ne peut être espéré sans corriger le pH. Pour cela, il faudrait à tout prix apporter du calcium et du magnésium par la dolomie ou par des broyats de roche. Par la suite, les carences de certains éléments en particulier le potassium, l'azote et surtout le phosphore sont apportées. Les sources naturelles et locales de ces éléments sont les plus indiquées dont l'azote par l'engrais azoté de synthèse ou par les légumineuses, le phosphore par les phosphates naturels. L'étude de la rentabilité et l'acceptabilité de l'utilisation de ces produits naturels serait aussi intéressante à approfondir.

Mots-clefs : Sols ferralitiques- Altération des roches-Amélioration de la productivité agricole-Fertilisation-Rendements des récoltes- -Manankazo/Tampoketsa-Madagascar .

ABSTRACT

Because of the low productivity of ferrallitic soils, characterised by a high acidity and low exchange capacity and stockage of nutrients, studies of appropriate fertilisations using local resources are necessary to obtain the best crop -harvest and ameliorate rural development in Madagascar.

In fact, experimentations with maize (when nitrogen is included in fertilisation) and bean (when there is not utilisation of nitrogen) have been carried out. So, the nutrients are composed with natural and artificial elements as: fertiliser, powder of rocks (dolomite, basalt, schiste, gabbro) and bone, phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg).

Statistical mechanism at random is used to test effects of different fertiliser.

The results of our research have allowed to obtain the following conclusions:

-The absence of one element (P, K, N, Ca, Mg) does not allow to have crops harvest. This is the law of minimum factor of Liebig.

-The natural phosphate increases the harvest with the augmentation of his powder's quantity carried because the soils does not contain P and Ca.

-Alone rocks grinded (basalt, schist, gabbro) have no effect in the production if there is not Nitrogen and Phosphorus.

These results coincide with experiences of bone and rocks alterations where there is dissolution of minerals used by the plants. Then, fertilisation and amendment are possible but it needs studies of the type of rock, the quantity of powder carried and the dimensions of particles.

The obtention of crops is possible even the climate and soils conditions are difficult when there is appropriate used of fertiliser. With the acidic and poor ferrallitic soils, we does not hope for crops if there is not correction of acidity (pH). So, we must bring Calcium and Magnesium from powder of dolomite or rocks and other absent elements as Nitrogen, Phosphorus, Potassium must be carried with natural sources of these elements (Nitrogen from N artificial or leguminous, Phosphorus from natural phosphate and Potassium from potassic rock).

**Key-Words: Ferrallitic soil-Alteration of rocks- Agricultural productivity-Fertiliser-Crop harvest -
Manankazo/Tampoketsa.**

1. Introduction

Les conditions climatiques, socio-économiques et en particulier pédologiques des sols ferrallitiques sont défavorables. En effet, il y a pauvreté naturelle des sols liée à la faible productivité des sols ferrallitiques anciens et à la forte agressivité du climat exacerbée par la pratique des feux de brousse entraînant une érosion grave. Ensuite il y a mauvaise gestion des sols et de leur fertilité par les pratiques traditionnelles de gestion de la fertilité telle la non-restitution des éléments exportés et de la biomasse. Enfin il y a manque de fertilisations adaptées au pays et aux sols.

Aussi, la présente étude a pour titre : « Recherche en vue de l'amélioration de la productivité des sols ferrallitiques et des rendements des récoltes sur les Hautes Terres Centrales de Madagascar par la fertilisation et l'amendement avec des broyats de roches ».

On se propose de montrer que l'on peut obtenir de rendements de récoltes sur des sols ferrallitiques dégradés physiquement et très pauvres chimiquement par des fertilisants appropriés à base de roche. L'étude relève du domaine de l'altération des roches et de l'os (en remplacement des phosphates naturels) dont l'objectif final est d'en disposer des éléments minéraux pour les cultures. Le but étant d'augmenter la production agricole et le niveau de vie de la population et donc le développement durable.

Ainsi, cette étude de l'amélioration de la fertilité des sols et du rendement des récoltes a été effectuée en deux étapes :

-Etude de l'amélioration de la productivité des sols et du rendement agricole en utilisant des fertilisants et amendements à base de roche.

-Etude de la libération d'éléments minéraux par les matériaux utilisés (roches, os) par l'altération.

2. Conditions naturelles

Géographiquement, la zone d'étude dénommée Manankazo se trouve sur les Hauts plateaux de Madagascar. Elle est située au niveau de la latitude 18°08' Sud et de la longitude 47°14' Ouest. Elle est traversée par la route nationale RN°4, se situant à 35 km au Nord d' Ankazobe. Son altitude oscille entre 1565m au Sud et 1580 m au Nord. Le site se trouve à 140 Km au Nord d'Antananarivo dans un compartiment d'activités de recherche du FOFIFA, dans les bassins versants de Firirazana, commune rurale d'Antakavana dans le district d'Ankazobe et dans la région d'Analamanga.

Le climat de la région est du type tropical humide d'altitude soumis à l'influence de l'Alizé indien, humide frais et marqué par l'existence d'une saison sèche ($P_m < 30$ mm) de 5 mois (Mai à Septembre).

La pluviométrie annuelle est en moyenne de 1823mm, répartie sur 114 jours de pluies, avec une saison des pluies entre Novembre et Avril et une saison sèche, entre Mai et Octobre.

La température moyenne annuelle est de 16,5°C dont le maxima atteint 18,7°C (mois de Janvier), tandis que le minima est de 13,5°C (mois d'Août).

Les reliefs sont constitués de collines plus ou moins arrondies et de croupes plus ou moins convexes voire à replats sommitaux avec des pentes transversales un peu marquées (pentes entre 15 et 35°).et appartient au Tampoketsa d'Ankazobe sur des restes d'aplanissements anciens d'âge Crétacé (DIXEY 1956, BESAIRIE 1960, F. BOURGEAT, 1972).

Géologiquement, il est inclus dans le système précambrien à formation géologique de migmatites et migmatites granitoïdes du socle cristallin. Avec quelques affleurements de quartzite, cette surface d'érosion de Tampoketsa a pu résister à cause des roches dures de bordure qui l'arment et la protègent contre les érosions régressives.

La formation végétale du site d'étude est une savane herbeuse à Graminées à base de *Loudetia stipoides* et d'*Aristida multicaulis*, régulièrement parcourus par les feux de brousse. La végétation de la région bioclimatique est la formation climacique physiographique à mousses et à lichens appelée forêt dense humide de montagne (KOECHLIN et al, 1974). Il faudrait signaler la présence de reboisements de *Pinus* et d'*Eucalyptus*.

3.Méthodologie

31. Expérimentations agronomiques

La recherche concerne l'optimisation de la fertilisation du sol en vue d'un meilleur rendement agricole. Elle consiste à faire des essais avec différents modes de fertilisations naturelle et artificielle. Les fertilisants comprennent divers matériaux : des poudres de roche (basalte, gabbro, schiste et d'os) et d'engrais chimiques d'urée. Les plantes de culture testées sont le maïs et le haricot. Les paramètres d'évaluation des tests sont les rendements des récoltes.

Du point de vue pédologique, il s'agit d'un sol très acide à faible capacité d'échange ($CEC < 10\%$) et pauvre en bases échangeables. C'est un sol argilo-limoneux, jaune sur rouge (HERVIEU, 1967). Il est très pauvre en phosphore assimilable. Cependant, le sol est riche en azote total.

Ces sols sont ainsi désaturés car leur évolution est ancienne. Ils sont d'âge crétacé terminal, évoluant sur la surface d'érosion de Tampoketsa (F. BOURGEAT, 1972).

La caractérisation par diffraction des RX des fractions argileuses du sol montré par les diffractogrammes (ou spectres de diffractions) pour deux profondeurs d'horizons S1 à 20cm et S2 à 70cm, donne dans S1 de la kaolinite très dominante et de la gibbsite et dans S2 de la kaolinite et gibbsite à peu près à part égale.

311. Expérimentations agronomiques de fertilisation minérale du maïs avec les éléments minéraux apportés par les poudres de roche et d'os

Le dispositif expérimental est constitué d'une parcelle de 20 m de longueur (selon la courbe de niveau) sur 16 m de largeur subdivisée en 4 blocs identiques de 20 m de long et de 4 m de large. Chaque bloc contient 8 placeaux de 3,3mx1,5m, recevant chacun l'un des 8 traitements préconisés (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 et T8). L'ensemble forme un dispositif de blocs complets randomisés de 32 placeaux. En effet, chaque traitement est répété une fois dans chaque bloc.

Tableau 1 : Nature des traitements de l'expérimentation

Sigle du traitement	Nature du traitement
T1	témoin (sans apport) : retournement de la savane
T2	retournement savane+5t/ha de basalte<5mm (ou 5kg de basalte par parcelle de 10m ²)
T3	retournement savane+0,5t/ha de poudre d'os (soit 0,5kg d'os par parcelle de 10m ²)
T4	retournement savane+5t/ha de basalte<5mm (ou 5kg de basalte par parcelle de 10m ²)+0,5t/ha de poudre d'os (soit 0,5kg d'os par parcelle de 10m ²)
T5	retournement savane+1t/ha de schiste (ou 1kg de micaschiste sur 10m ²)
T6	retournement savane+5t/ha de basalte<5mm (ou 5kg de basalte par parcelle de 10m ²)+0,5t/ha de poudre d'os (soit 0,5kg d'os par parcelle de 10m ²)+1t/ha de schiste (ou 1kg de micaschiste sur 10m ²)
T7	retournement savane+1t/ha de schiste (ou 1kg de micaschiste sur 10m ²) + 0,5t/ha de poudre d'os (soit 0,5kg d'os par parcelle de 10m ²)
T8	retournement savane+5t/ha de basalte<5mm (ou 5kg de basalte par parcelle de 10m ²) +1t/ha de schiste (ou 1kg de micaschiste sur 10m ²)

Les 8 traitements sont constitués d'apports de poudres de roches de basalte, de schiste et d'os ; un témoin zéro (T1) est testé afin d'estimer la fertilité naturelle du sol. Ils sont détaillés dans le tableau N°01.

Le labour des placeaux avec une profondeur de 20 cm et l'épandage des poudres de basalte, de schiste et d'os de diamètres inférieurs à 0,5mm ont été effectués en même temps.

Le semis de maïs sur les 32 parcelles du dispositif a eu lieu avec une équidistance de 0.8m entre les lignes et 15cm sur les lignes. 4 rangées de 10 plants de maïs ont été installés sur chaque placeau de 3,3x1,5m soit 40 plants de maïs. La variété utilisée est une variété hybride dénommée MEVA.

Deux doses d'urée de 70g chacune par placeau ont été appliquées au stade levée, 6 feuilles et 12 feuilles.

Les mesures sur la culture de maïs concernent : le poids des graines, le poids de la biomasse totale (racines, tiges, feuilles et graines), le poids de la biomasse sans graines.

312. Expérimentations agronomiques de fertilisation minérale du haricot par des poudres de roche et d'os

Il s'agit d'un essai qui consiste à voir l'effet sur le rendement du haricot des éléments apportés par des poudres d'os, de roches de basalte et de schiste à des doses croissantes. Le dispositif

est constitué d'un seul bloc de 10m de long subdivisé en 10 petites parcelles de 1x1m correspondant à 10 traitements selon la figure N°1 ci-dessous.

Les poudres d'os, de schiste et de basalte ont été épandues et enfouies selon les doses affichées dans la figure N°01.

←1m→ H1 : (0,1Kg de basalte)	H2 : (0,5kg de basalte)	H3 : (2kg de basalte)	H4 : (0,01k g d'os)	H5 : (0,05kg d'os)	H6 : (0,2kg d'os)	H7 : (0,02kg de schiste)	H8 : (0,1kg de schiste)	H9 : (0,4kg de schiste)	H10 : (0,5kg de basalte+0,05 kg d'os+0,1kg de schiste)
--	-------------------------------	-----------------------------	------------------------------	--------------------------	-------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---

Figure 1: Dispositif expérimental d'essai de culture de haricot sur poudre de roche et d'os

Les graines de haricot ont été semées avec un espacement de 15cm les unes des autres soit un effectif de 49 plants par parcelle de 1m².

Après deux mois et demi de semis, la récolte du haricot a été effectuée et le rendement de haricot fut évalué en poids de grains secs.

32. L'altération des roches et des phosphates

Il s'agit d'étudier et d'observer l'altération des roches et d'os par leur enfouissement dans le sol pendant une ou deux saisons de pluies. Sont concernées des broyats et des plaquettes de basalte, de gabbro, de schiste et d'os préalablement polis.

33. Traitements et analyses des données

Il s'agit de déterminer les relations entre les différents paramètres de fertilité du sol et ceux de la production végétale.

Les méthodes statistiques descriptives élémentaires en particulier l'analyse des variance sont utilisées s'agissant de dispositif en blocs complets randomisés. Par ailleurs, l'analyse des données à partir de logiciels informatiques EXCEL, SIGMASTAT, SPSS pour les calculs a été effectuée.

3. Résultats et discussions

31. Expérimentations agronomiques

311. Expérimentations agronomiques avec le maïs

Tableau 2 : Rendement du maïs en biomasse totale en t/ha (Pbth), en biomasse sans grains en t/ha (Pbth) et biomasse en grains en t/ha (Preelph ou Pth)

Traitements	Moyennes (Pbth)	Pbth	Preelph
T1(Témoin 0)	0,1000	0,1000	0,0000
T2 (Basalte)	0,1250	0,1250	0,0000
T3 (Os)	0,4131	0,4075	0,0565
T4 (Basalte+Os)	0,9124	0,8580	0,0662
T5 (Schiste)	0,1900	0,1900	0,0000
T6 (Basalte+Os+Schiste)	1,0510	0,9555	0,08425
T7 (Schiste+os)	0,4485	0,4485	0,0000
T8 (Schiste+Basalte)	0,1250	0,1250	0,0000

D'abord à priori, voici ce qu'apportent les différentes poudres utilisées :

-Le traitement T2 (basalte) apporte notamment Ca et Mg,

-Le traitement T3 (os) apporte du P et Ca sous forme $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$,

-Le traitement T5 (schiste) amène du K.

La méthode de comparaison de moyennes par l'ANOVA à deux facteurs (Blocs et Traitements), celle de Student-Newman-Keuls pour séparer des groupes différents et l'analyse de variance avec le logiciel SPSS.12 0 pour windows pour les classements en groupes homogènes ont été utilisées.

La méthode de comparaison de moyennes par l'ANOVA à deux facteurs (Blocs et Traitements) a donné les résultats globaux suivants :

D'abord, il n'y a pas de différence significative pour les valeurs des moyennes de rendements des 4 blocs ; le F calculé et trouvé est inférieur à F de la table pour 3 et 21 degrés de

liberté. Les paramètres de rendements utilisés dans les tests sont Pbth, Pbth et Preelph (Pth).

Cependant, l'ANOVA testant l'homogénéité des traitements a affiché une valeur de F (5,977) > F trouvée dans la table pour 7 et 21 degrés de libertés, se traduisant par des traitements donnant des moyennes de rendements différents que l'on peut comparer avec la méthode Student-Newman-Keuls, lequel a fait le regroupement pour les différents paramètres de rendements (Pbth, Pbth, Preelph ou Pth).

Par ailleurs, l'analyse de variance avec le logiciel SPSS.12 0 pour windows a donné les moyennes des différents paramètres de rendements du maïs et leurs classements en groupes homogènes comme ils sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau 3: regroupement des paramètres de rendement

Pth		
Student-Newman-Keuls ^a		
Trait	N	Sous-ensemble pour alpha = .05
1	4	1
2	4	,00000
5	4	,00000
7	4	,00000
8	4	,00000
3	4	,00565
4	4	,06620
6	4	,08425
Signification		,200

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 4,000.

Pbth				
Student-Newman-Keuls ^a				
Trait	N	Sous-ensemble pour alpha = .05		
		1	2	3
1	4	,10000		
2	4	,12500		
8	4	,12500		
5	4	,19000		
3	4	,41315	,41315	
7	4	,44850	,44850	
4	4	,91243	,91243	,91243
6	4			1,05090
Signification		,540	,056	,504

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

Pbth			
Student-Newman-Keuls ^a			
Trait	N	Sous-ensemble pour alpha = .05	
		1	2
1	4	,10000	
2	4	,12500	
8	4	,12500	
5	4	,19000	
3	4	,40750	
7	4	,44850	
4	4		,85800
6	4		,95550
Signification		,322	,563

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 4,000.

Les résultats sur les rendements dans le tableau ci-dessus peuvent être schématisés comme suit :

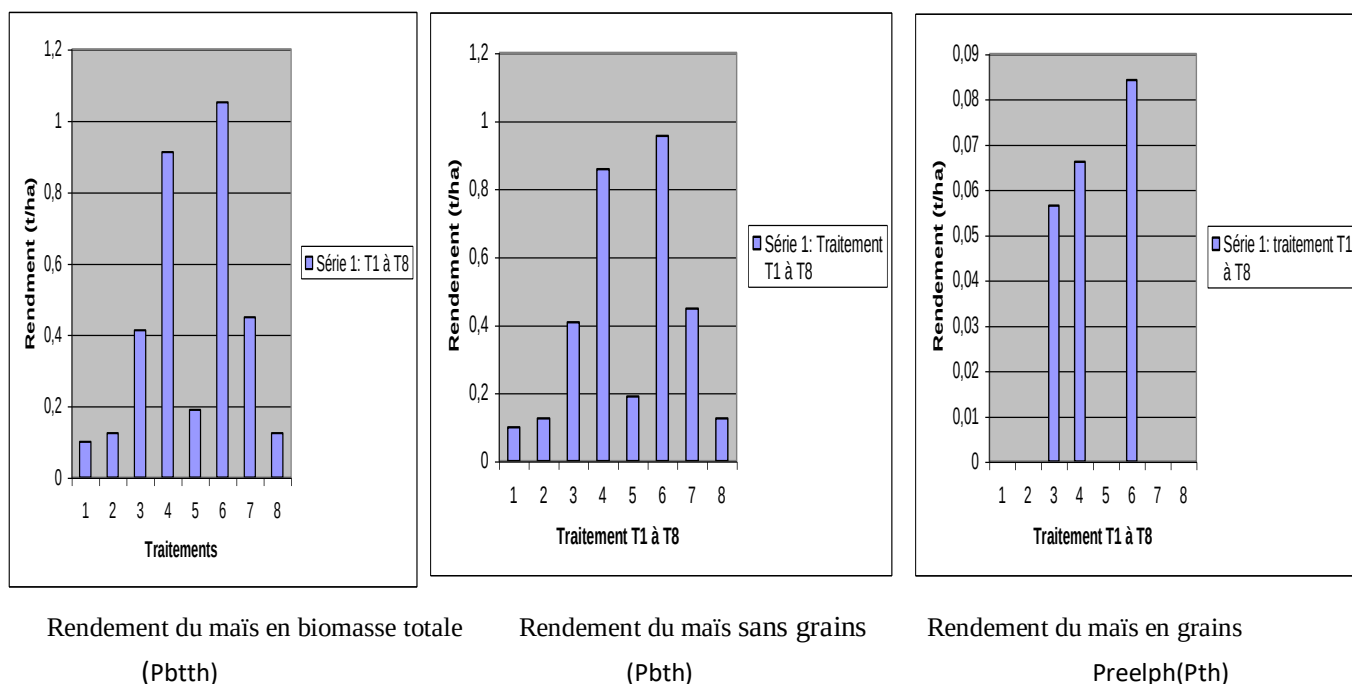


Figure 2: Rendements du maïs

A ce propos, on peut apporter les discussions suivantes :

L'association Basalte +os+Schiste (Traitement T6) et Basalte+Os (Traitement T4) donnent des résultats très différents du témoin (Traitement T1). Ici, les rendements sont les plus élevés. Cela signifie que :

- Le schiste même s'il contient du potassium n'amène pas du potassium utilisable pour la plante,
- Le basalte et l'os ont un effet assez important par rapport au témoin.

L'association Schiste+Os (Traitement T7) a le même rendement que l'os seul (traitement T3) confirmant ainsi le manque d'effet du schiste. Par contre l'os avec son apport de P et Ca a un effet essentiel mais celui-ci est exacerbé par le basalte.

Les roches seules (Traitements T2, T5, T8) n'ont aucun effet donc le basalte n'apparaît valable qu'associé au P et montre donc un effet synergique.

Ces traitements ont donné les valeurs des rendements les plus faibles.

Il est à noter que pour cette expérimentation, la biomasse totale est régie par la biomasse végétale, les grains ne présentant qu'une très faible partie.

Les sols sur lesquels ont été installés l'expérimentation manquent de Ca et de Mg. Ce sont des sols ferrallitiques acides et desaturés. Mais même si le sol contient ces deux éléments par addition de poudres de basalte, on ne peut pas espérer des récoltes. Il faudrait du P qui est procuré par les grains d'os. Seuls sur les parcelles où l'on a fait de l'épandage avec de l'os seul ou de l'os mélangé avec un autre type de grains de roche qu'on a pu obtenir des récoltes. Mais l'effet des éléments apportés par l'os est d'autant plus accentué qu'ils sont associés à ceux amenés par les poudres de basalte. On peut en conclure que les sols ferrallitiques de Madagascar manquent de Ca, Mg et P.

Si l'apport de Ca et Mg a été fait à partir du basalte peu altérable, il conviendrait de tester le calcaire et la dolomite.

Aussi, pour espérer un rendement de récolte sur les sols ferrallitiques anciens désaturés, il faut corriger le pH des sol en les chaulant. Etant désaturé, le chaulage avec la dolomie qui apporte à la fois du Ca et Mg est obligatoire sur ces sols. Puis il faudrait corriger les carences du sol par des apports d'éléments manquants.

Si nous avons amené des poudres d'os dans l'expérimentation, ce n'est peut être pas très réaliste mais de l'apport de phosphates naturels plus ou moins broyés serait idéal. La granulométrie sera à déterminer suivant le sol et le type de phosphates.

312. Expérimentations agronomiques avec le haricot

Les rendements des récoltes de haricot obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 4: Rendement de haricot obtenu (grains et biomasse frais)

Traitements	Bt (Biomasse totale) en t/ha	Rendement en graines en t/ha
H1(1t/ha de basalte)	0	0
H2 (5t/ha de basalte)	0	0
H3 (20t/ha de basalte)	0	0
H4 (0,1t /ha d'os)	0,45	0,40
H5 (0,5t/ha d'os)	0,750	0,60
H6 (2t/ha d'os)	1,850	1,75
H7 (0,2t/ha de schiste)	0	0
H8 (1t/ha de schiste)	0	0
H9 (4t/ha de schiste)	0	0
H10 (5t/ha de basalte+0,5t/ha d'os+1t/ha de schiste)	0,690	0,550

Ce sont les placeaux recevant les traitements avec les poudres d'os qui ont produit les meilleurs rendements de haricot. Ces derniers augmentent avec les quantités de poudre apportées. Les traitements avec les poudres de roche (basalte et schiste) n'ont donné aucune récolte de haricot . Aussi ce sont les poudres d'os qui sont les plus efficaces pour l'amélioration de la fertilité chimique et donc celle de la productivité agricole du sol.

Ce sont les poudres d'os qui sont les plus facilement altérables et par conséquent qui libèrent les éléments minéraux nécessaires pour la plante. Elles permettent sa croissance et son développement durant la période de végétation laquelle est courte pour le haricot (2,5 mois). Les minéraux des roches (basalte et schiste) semblent être tardivement altérés et ne profiteront pas à la culture. Aussi aucun rendement n'est escompté. La productivité du sol y est très faible.

Cette expérimentation confirme une fois de plus que les sols sont desaturés, pauvres en Ca et P. Ils sont déficients en phosphore que l'os peut s'en procurer pour les plantes. En effet, l'os contient de l'apatite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$.

Ce sont les éléments apportés par l'os qui influencent nettement l'accroissement du rendement de haricot. Le rendement du haricot augmente parallèlement avec l'accroissement de la quantité de poudre d'os et donc des éléments chimiques qu'elles apportent .

On déduit de ces résultats que les caractéristiques chimiques du sol jouent un rôle essentiel dans la nutrition et la croissance du haricot puis conditionnent l'obtention d'un bon rendement agricole.

D'après cette expérimentation, il est inconcevable d'espérer des rendements agricoles sur des terrains très pauvres et très désaturés. Il faudrait apporter les éléments chimiques dont les cultures ont besoin.

Seul le sol amendé avec les poudres d'os a donné un rendement de haricot.

Les autres placeaux recevant des doses mêmes croissantes de poudres de basalte et de schiste n'ont fourni aucun rendement.

Le rendement agricole est très influencé par les caractéristiques chimiques du sol. Il apparaît ainsi d'une manière évidente que ce sont les milieux dotés de meilleures caractéristiques qui produisent le meilleur rendement agricole. Les sols à fertilité médiocre ne contenant pas les éléments chimiques nécessaires à la plante ne peuvent que donner des rendements nuls.

32 . Altération des roches

321. Evolution des minéraux des roches dans le sol

- Le dispositif expérimental comprend 9 parcelles de 2m²(1mx2m): basalte (1 ,2 ,3), os (4, 5, 6) et schiste (7, 8, 9) sur lesquels ont été épandus et enfouis les poudres d'os et de roches pendant une saison de pluie.
- Les prélèvements d'échantillons de sol pour analyses ont été espacés de deux mois. Ils ont eu lieu en début des mois de Janvier, Mars et Mai de l'année 2005.

Tableau 5: Evolution des poudres de roches et d'os dans le sol

Mois de prélèvement d'échantillons de sol courant année 2005		Janvier	Mars	Mai	Janvier	Mar	Mai	Janvier	Mars	Mai	Janvier	Mars	Mai
Traitement		1er Prélèvement	2è Prélèvement	3è prélèvement	1 ^{er} prélèvement	2è prélèvement	3è prélèvement	1 ^{er} prélèvement	2è prélèvement	3è prélèvement	1 ^{er} prélèvement	2è prélèvement	3è prélèvement
		P(ppm)	P(ppm)	P(ppm)	Ca (meq/100)	Ca (meq/100)	Ca (meq/100)	Mg (meq/100)	Mg (meq/100)	Mg (meq/100)	K (meq/100)	K (meq/100)	K (meq/100)
	E1				0.019	0,019	0,019	0.072	0,072	0,072			
1					0.089	0,073	0,047	0.366	0,1	0,083			
2					0.095	0,098	0,03	0.308	0,175	0,125			
3					0.099	0,135	0,053	0.316	0,283	0,192			
	E2	2.4	2,4	2,4	0.014	0,014	0,014						
4		4.5	3,3	3,5	0.152	0,158	0,07						
5		10.8	1,3	3,6	0.245	0,22	0,25						
6		57.8	7,3	11,3	1.92	0,715	0,69						
	E3				0.023	0,023	0,023				0.091	0,091	0,091
7					0.104	0,074	0,05				0.120	4,95	0,225
8					0.045	0,108	0,1				0.125	5,43	0,131
9					0.054	0,104	0,085				0.130	7,51	0,243

1 :0,1Kg de basalte
2 :0,5kg de basalte
3 :2kg de basalte
4 :0,01kg d'os
5 :0,05kgd'os

6 :0,2kg d'os
7 :0,02kg de micaschiste
8 :0,1kg de micaschiste
9 :0,4kg de micaschiste

E1: parcelle contenant les placeaux 1, 2, 3
E2 : parcelle contenant les placeaux 4,5,6
E3 : parcelle contenant les placeau 7,8,9

On peut avancer les discussions suivantes concernant l'évolution de chacun de ces matériaux de roche et d'os :

Le basalte

Pour les grains de basalte, il y a au début une quantité élevée en Ca et Mg. Elle ne dépend pas de la quantité de basalte apportée notamment pour le Mg qui, pour la plus faible dose apportée contient plus de Mg qu'avec la plus forte dose.

Peu importe la quantité de poudres ajoutées, il y a des éléments qui sont dissous et libérés dans l'horizon d'enfouissement. Mais les teneurs en Ca et Mg diminuent progressivement avec le temps car il y a lessivage et prélèvement par les racines des plantes.

L'os

A quelques variations près, il y a augmentation des éléments P et Ca en fonction des quantités de matériaux apportés. Les actions de la pluie et de la température, entraînent l'altération et la libération en quantité des éléments Mg et Ca mais parallèlement au cours du temps il y a perte en ces éléments par lessivage et prélèvements par les racines des plantes.

Le schiste

Comme pour le basalte, il n'y pas augmentation des teneurs en K et Ca en fonction des doses apportées.

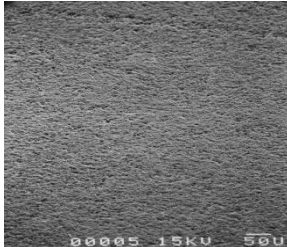
Pour le Ca, on note une petite augmentation de teneur au cours du temps en pleine pluie puis une légère diminution c'est-à-dire, il y a libération d'éléments minéraux qui peuvent être perdus en partie.

Par contre pour le K, on retrouve la même teneur au cours du temps ; elle n'est pas

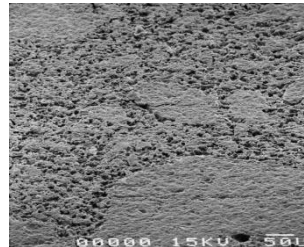
fonction de la quantité apportée mais probablement fonction de la granulométrie. Puis il se manifeste une libération brutale et importante de K mais qui va être perdue très facilement.

322. *Altération des roches*

L'altération des minéraux des plaques et poudres d'os et de roches (basalte, gabbro) peut être observée à partir des différentes photo sous MEB (Microscope au Balayage Electronique). Quelques exemples sont représentés ci-après :



Basalte frais

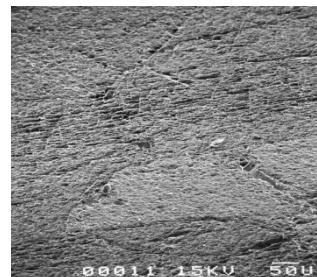


Basalte 2 ans

Des cavités apparaissent au niveau des surfaces des plaques de basalte âgées de deux ans. Ce sont des creux de dissolution où les cations sont partis en solution. Les plaques fraîches présentées ne présentent pas de creux. Leurs surfaces sont lisses.

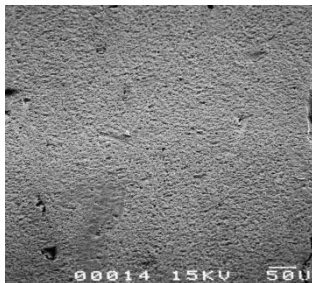


Gabbro frais

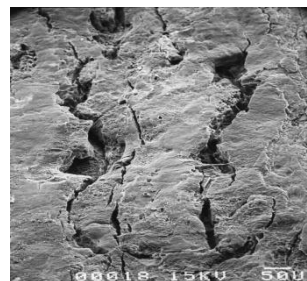


Gabbro 2 ans

Il y a dissolution de certains minéraux suivant des clivages de la plaque de gabbro de deux ans mais il apparaît aussi en certains points des creux de dissolution des minéraux (Photo à droite). Il faut observer l'existence de plages intactes au niveau de ces plaques.



Os frais



Os 2 ans

La photo d'os de deux ans montre des zones nettes de dissolution. De grandes fissures à cavités assez profondes de dissolution apparaissent bien sur la photo de droite. La photo de référence d'os frais présente une surface d'aspect homogène.

4 . Conclusion générale

Les résultats obtenus ont permis d'émettre les conclusions suivantes :

-les phosphates naturels (cas de l'os pour le cas présent) permettent un rendement croissant en fonction de la quantité de poudre apportée car les sols manquent de phosphore et de calcium.

-les roches broyées seules (basalte, schiste, gabbro) n'ont pas d'effet sur la production. Elles le sont si elles sont utilisées en mélange et avec de l'azote et du phosphore.

Ces résultats sur le rendement des récoltes concordent bien avec les expériences sur l'altération des plaques polis et des grains de roches et d'os où il y a une dissolution des minéraux porteurs des éléments chimiques utiles à la plante. Aussi, la fertilisation et l'amendement par des broyats de roche sont possibles. L'on devra approfondir davantage toute la problématique de la fertilisation en région tropicale humide et en région équatoriale. Les engrais commerciaux adaptés aux pays tempérés sont trop solubles et ne peuvent être utilisés efficacement.

L'obtention des produits agricoles reste possible même si les conditions pédologiques et climatiques sont très difficiles moyennant des fertilisations adaptées. En particulier, pour les sols ferrallitiques acides et appauvris chimiquement, aucun rendement ne peut être espéré sans corriger le pH et les insuffisances en éléments fertilisants. Pour cela, on peut apporter du calcium et du magnésium juste nécessaire par la dolomie ou par des broyats de roche tout en relevant le pH, le potassium et surtout le phosphore par des sources naturelles : roches potassiques broyées et phosphates naturels. Ce qui est très important en matière d'agriculture et d'élevage car permettra l'obtention des produits biologiques végétaux et animaux. si utiles et nécessaires pour la santé humaine. En effet, grâce à des pratiques plus respectueuses de l'environnement, en évitant l'utilisation des produits chimiques, on peut obtenir des aliments biologiques plus riches sur le plan nutritionnel mais aussi des aliments qui ont plus de saveur et du goût.

Comme perspectives, bien qu'il s'agit d'un premier essai, la poursuite des travaux de recherches sur les fertilisants naturels est à faire . Il s'agit de voir les effets sur les rendements des produits agricoles en augmentant les

doses du basalte ou de dolomie en réglant la granulométrie. Il faut chercher à éviter les pertes en fonction du climat, de la texture du sol et de la capacité d'échange. Il faudrait mieux ajuster les doses. De même, il faut penser aux phosphates naturels.

En climat tropical humide, les engrais utilisés en zones tempérées sont inefficaces surtout en saison des pluies surtout s'ils sont très solubles. Ils sont lixiviés et ne profitent pas à la plante. La solution est donc d'ajouter des minéraux beaucoup moins solubles qui libéreront progressivement leurs cations.

La recherche devrait se poursuivre en ajustant les paramètres suivants :

- la région climatique

- le type de roche à incorporer dans le sol en tenant compte de sa granulométrie, de la quantité et des besoins des plantes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANDRE GROS (1987) – Guide pratique de la fertilisation, 382 pages.

BERGONZINI B. (1991) – Biométrie, cours polycopié, 105 pages

BEZAIRIE H. (1957) - La géologie de Madagascar. Publ.Multigr. Service Géolog. Tananarivo, 169 p. Paris.

BIED-CHARRETON *et al* (1981) - Carte des conditions géographiques de la mise en valeur agricole de Madagascar : notice explicative n° 87, ORSTOM, Paris.

BOURGEAT F., HUNH VAN N., VICARIOT J., ZEBROWSKI (1973) - Relation entre le relief, les types de sols et leurs aptitudes culturales sur les hautes terres malgaches. Cahier ORSTOM, Tananarivo, 39p.

BOURGEAT F. (1972) – Sols sur socle ancien à Madagascar, types de différenciation et interprétation chronologique au cours du quaternaire . ORSTOM, Paris. 324 pages.

BOUTHIER A. *et al* (1997) - Chaulage et fertilisation magnésienne –ITCF,44 pages.

CAILLIERE S. *et al* (1963) – Minéralogie des argiles-Masson, Paris, 355 pages.

DAGNELIE P. (1981) – Principes d'expérimentation : un aperçu général sur les plans d'expériences. Presses agronomiques de Gembloux.

DIXEY (1956) – Etude géomorphologique des sols à Madagascar – Région de Tampoketsa- Science de la terre N°2, ORSTOM Madagascar. Série D,Tome II, fascicule 3.

GENSE C. (1970) – Premières observations sur l'altération de quelques roches des Hautes Terres magaches. Cahier ORSTOM, série pédologique, vol VIII,N°4.

GOUET J.P. (1974) – Les comparaisons des moyennes et des variances – Application à l'agronomie.

HERVIEU J. (1967) – Géographe des sols malgaches. Extrait des cahiers ORSTOM.

KOECHLIN (1974) – Flore et végétation de Madagascar.

KONE B. (1999) – Amélioration de la productivité par la combinaison des haies vives avec les phosphates naturels, Mali. Rés. Erosion N° 19.

LESTER BROWN (1998) – Struggling tto Raise Crop Productivity. State of the world.

PEDRO G. (1964) – Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches scristallines. Thèse de doctorat es-Sciences. Publication INRA, 345 pages.

PHILIPPEAU G. (1979) – Puissance d'une expérience- Nombre de répétitions nécessaires pour comparer deux ou plusieurs traitements.

RAKOTOMANANA J.L. (1995) – Bilan des recherches et des actions sur la fertilité des tanety.

RANDRIAMBOAVONJY J.C. (1995) – Etude des pédopaysages dans quatres zones tests de Madagascar (Côte Est, Hautes Terres Centrales, Moyen-Ouest et Côte Ouest). Série du Département des Eaux et Forêts, n°3.

ROOSE E. (1994) – ntroduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologique de la FAO. ORSTOM. Montpellier-France, 42 pages.

SCHVARTZ *et al.* (2005) – Guide pratique de la fertilisation raisonnée, 414 pages.

SEDDOH F. *et al.* (1972) – Intérêt de l'utilisation du microscope à balayage électronique à l'étude des micas et de leur évolution. Bull. Soc. Fr. Minér. Cristallogr.

SERGE P. (1971) – Engrais et fumure – Presses universitaires de France. Que sais-je ?

SOLTNER D. (2005).- Les bases de la production végétale, le sol, le climat, la plante – tome 1 : le sol. Angers, sciences et techniques agricoles 12è édition, 457 pages.

SOUBIES F. (1974) - Contribution à l'étude de la pédogenèse ferrallitique : morphologie, minéralogie et évolution géochimique des formations superficielles de la cuvette d'Ambalavao, 130 pages.