861

INSTITUT DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DU RWANDA

I. S. A. R.

NOTE TECHNIQUE

L'AMELIORATION DES SOLS DES REGIONS D'ALTITUDE

par

H. NEEL, Chef du groupe de pédologie
à Rubona

N° 11 1974

L'AMELIORATION DES SOLS DES REGIONS D'ALTITUDE

PAR

H. NEEL, ir. agr. et H. De Prins,
ir.ind.agr.

AMELIORATION DES SOLS DES REGIONS D'ALTITUDE

I LOCALISATION ET EXTENSION DES REGIONS D'ALTITUDE.

Les régions d'altitude, dont il est question ici, s'étendent sur la crête Congo-Nil en préfecture de Butare, Gikongoro, Gitarama, Kibuye et Gisenyi (voir carte en annexe). Elles sont caractérisées par des sols très pauvres. Sont donc exclues les régions d'altitude situées au nord de la préfecture de Gisenyi (Bugoyi), de Rubengeri (sols volcaniques) et de Byumba où les sols sont d'une meilleure valeur agricole. Généralement l'altitude est supérieure à 1800 m. Elles s'étendent sur plus de 500.000 ha.

2. LE MILIEU.

2.1. Climat

Les régions d'altitude jouissent généralement d'un climat du type Cw_{2-3}, c-à-d. d'un climat tempéré avec saison sèche de 2 à 3 mois où la température moyenne du mois le plus froid est inférieure à 18° C. La précipitation annuelle dépasse 1500 mm. La saison sèche couvre les mois de (juin), juillet et août.

2.2. Géologie - Géomorphologie

Le plus souvent le sous-bassement géologique est constitué de roches métamorphiques d'âge précambienne : schistes variés, micaschistes, amphibolites, quartzites... A l'est de la préfecture de Gisenyi (Kabaya - Muramba) les roches sont surtout de nature granitique.

Du point de vue géomorphologique reste à noter l'existence d'un paysage très accidenté; les plus fortes pentes sont comprises entre 50 et 80 %. Les collines culminent à des altitudes variables s'inscrivant entre 1800 et 2500 m, elles ont souvent l'allure de crêtes. Les affleurements rocheux peuvent être très nombreux sur les sommets et les versants convexes. Le réseau hydrographique

est très dense. Les vallées sont généralement peu larges et l'écoulement des eaux y est parfois entravé par la présence de seuils rocheux, engendrant des marais tourbeux (région de Mata).

2.3. Végétation

Précédemment, les régions d'altitude étaient couvertes par la forêt ombrophile de montagne (x).

Après défrichement, le couvert végétal, sous l'influence du système cultural, des feux de brousses et du broutement par le bétail, évolue plus ou moins rapidement vers un recrû post-forestier ou une prairie d'altitude à Exotheca abyssinica et/ ou Eragrostis blepharoglumis (xx) (voir schéma n° 1)

Actuellement, sous l'influence de la pression démographique, les séries progressives conduisant au couvert forestier ne s'observent pas, au contraire, on assiste à une extension de la prairie où l'Eragrostis blepharoglumis devient l'espèce dominante.

L'extension des terrois intensivement cultivés est surtout limitée par les quantités d'amendements organiques disponibles.

(x) Quoique la valeur agricole des sols forestiers s'approche très vite de celle des sols typiques des terrains à prairies d'altitude après défrichement, ils ne sont pas inclus dans la présente note.

(xx) ERAGROSTIS BLEPHAROGLUMIS = E.BOEHMII; Détermination récente du professeur P. Vanderveken, appartenant à la faculté des Sciences de l'Université de Gand.

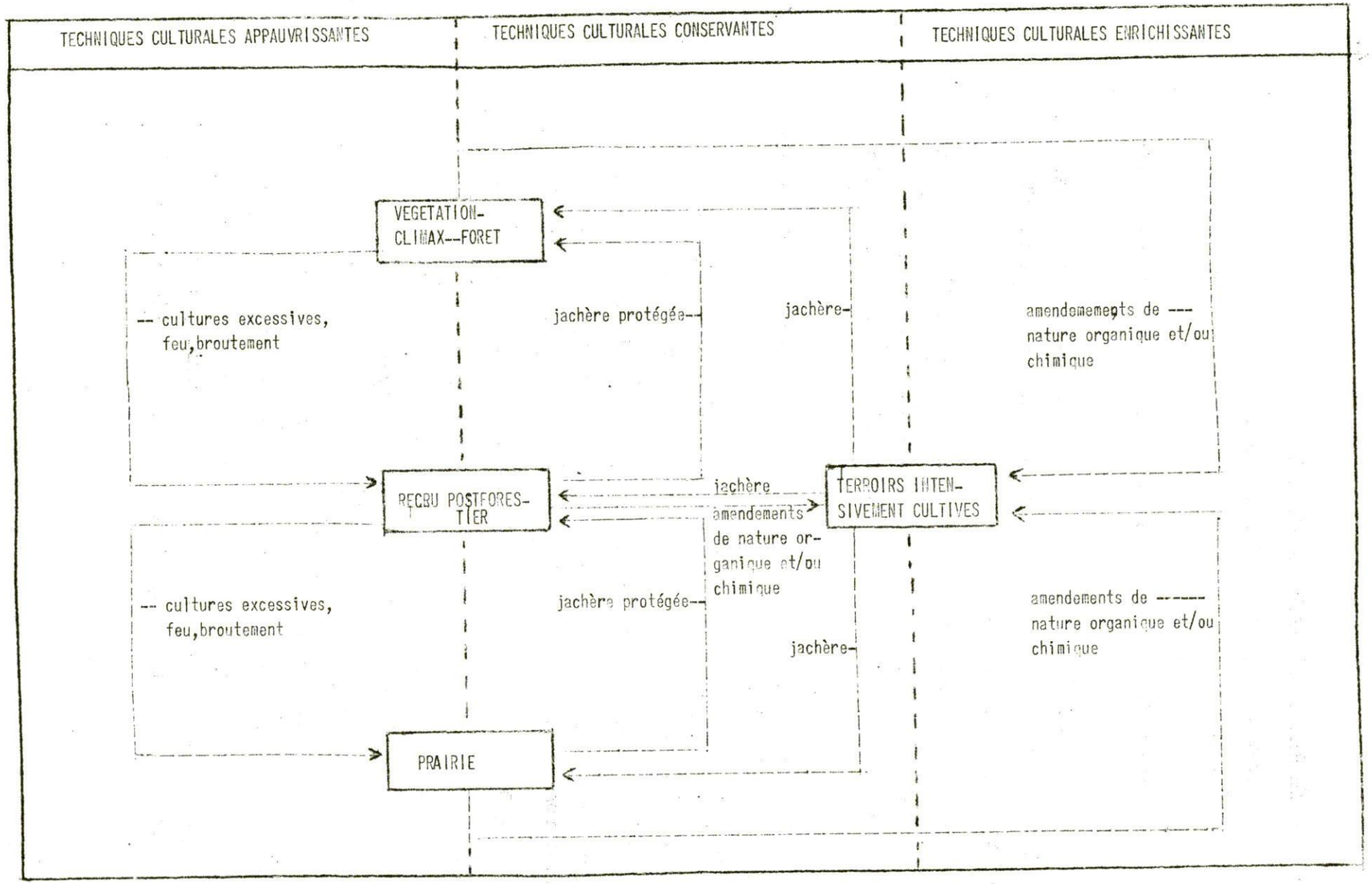


Schéma N°1.--Influence des techniques culturales sur l'évolution de la végétation.

2.4. Plantes cultivées. Rendements.

Parmi les plantes cultivées nous citons:

- éleusine, pommes de terre, petits pois, sarrasin, impombo (Coleus dazo)
- haricots, sorgho, maïs, froment, patates douces, colocase, tabac, bananier.

La première série de cultures est généralement pratiquée dans les sols non améliorés appartenant aux terroirs à recrû postforestier et prairies.

- Les pommes de terre se cultivent particulièrement dans les zones récemment conquis sur la forêt où le cycle cultural débute souvent par une ou deux cultures d'éleusine et de petits pois.

La récolte des pommes de terre est partiellement exportée des régions d'altitude.

- La préparation du terrain pour l'éleusine s'accompagne toujours d'un écobuage auquel la plante est très sensible.

L'éleusine remplace le sorgho là où l'altitude devient trop élevée pour ce dernier . Elle sert en grande partie à la fabrication de bière et peut être consommée sous forme de pâte.

- Dans les régions d'altitude, les petits pois sont cultivés à grande échelle, spécialement en deuxième saison.

En dehors des zones limitrophes de la forêt, on les trouve également dans les terroirs intensivement cultivés (situés à proximité des habitations).

Il s'agit d'une culture très extensive: la préparation du sol, très superficielle et localisée, se limite à un coup de houe, on ne sarcle pas, on n'emploie pas de tuteurs. Il en résulte que dans des périodes d'abondantes pluies, des maladies d'origine phytopathologique, provoquent souvent d'énormes ravages.

Pour la consommation, ils sont cuits, souvent mélangés à des haricots.

Une partie de la production est exportée vers d'autres régions.

- Le sarrasin est d'une importance très locale (Bufunzu). Il est intéressant par son adaptation aux sols acides, riches en aluminium-échangeable et par sa courte cycle de végétation.

- L'impombo (Coleus dazo) est une ancienne culture pratiquement abandonnée.

La deuxième série de cultures se rencontre surtout dans les sols améliorés des terroirs intensivement cultivés.

- La culture des haricots constitue rarement une monoculture. Le plus souvent ils sont associés à du maïs et des petits pois. Suite au faible développement végétatif il n'est pas rare de voir des associations de 4 cultures : haricots, maïs, petits pois et éleusine qui est semé à l'occasion du premier sarclage.

- Quand la croissance du sorgho n'est pas trop entravée par le climat, il constitue toujours la culture la plus importante de la deuxième saison dans les terroirs intensivement cultivés.

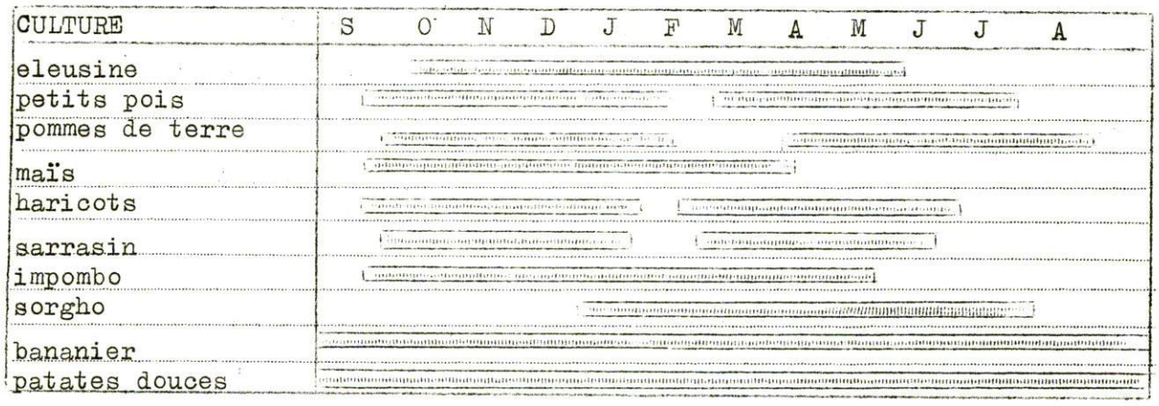
Mais suite à un cycle végétatif plus long des plantes en altitude, souvent la rotation classique d'haricots en première saison et sorgho en deuxième saison ne peut pas être maintenue. Pour le sorgho d'autres champs sont alors préparés.

- Comme dans d'autres régions du pays, les patates douces jouent un rôle important dans l'alimentation de la population pendant la saison sèche.

- Le froment est important dans la région limitrophe de la forêt en préfecture de Gikongoro (Kitabi).

- Le tabac et le colocase sont toujours cultivés en petites parcelles.

- Malgré les altitudes élevées presque chaque famille possède encore sa bananeraie.



Calendrier des cultures.

Dans le but de connaître les rendements des cultures principales et leur réaction à une application d'engrais chimiques, des parcelles d'essai très simples ont été installées chez des fermiers bénévoles.

Les résultats obtenus ont fait l'objet d'une note technique "Bilan de trois années d'essai engrais chimiques en milieu rural dans la région de la Rwondo" H.Neel, ISAR, note technique n° 14, 1973.

Les chiffres de rendements moyens sont repris dans le tableau ci-dessous.

Culture	Rendement moyen kg/ha
Haricot	265
Petit Pois	248
Sorgho	550
Eleusine	536

Tableau n° 1. Rendement moyen en kg/ha des principales cultures vivrières.

Ce tableau nous apprend que les rendements des principales cultures des régions d'altitude sont très faibles. Il n'est pas étonnant que des importations régulières de vivres y soient nécessaires.

Comme nous verrons plus loin, la raison principale de ces faibles rendements est la pauvreté chimique des sols. Toutefois on peut se demander si les cultures du haricot, sorgho et bananier ou les variétés utilisées sont bien adaptées aux conditions écologiques de ces régions. La population qui y habite a certainement immigré des régions de plus basse altitude et elle continue à cultiver les variétés qu'elle y cultivait.

Les faibles rendements du petit pois sont partiellement dus aux techniques culturales et attaques parasitaires.

Dans les terres améliorées de la région de Mata les rendements sont plus élevés : haricot 751 kg/ha, pois 693 kg/ha, sorgho 1500 kg, maïs 1200 kg, pommes de terre 7410 kg, patates douces ± 10.000 kg et bananier 6080 kg/ha.

2.5. Bétail

A l'heure actuelle nous ne disposons pas de chiffres valables concernant le recensement du bétail. A côté le gros bétail, les chèvres et moutons y sont présents en grand nombres.

Il faut remarquer que la valeur bromatologique de l'herbe Eragrostis blepharoglumis est très faible; elle est très dure et riche en cellulose (se prête à la fabrication de papier !).

2.6. Population, utilisation des terres.

La densité de population varie fortement d'une colline à l'autre.

Dans une région type, la région de la Rwondo (Bunyambiliri en préfecture de Gikongoro) nous avons trouvé une densité moyenne de 200 habitants par km^2 (181 à Mata). (Voir "Etude pédologique de la région de la Rwondo", H.Neel, ISAR, 1971.

Ce chiffre n'est pas parmis les plus élevés du pays mais compte tenu des ressources disponibles, il s'agit d'une densité considérable.

Toujours dans la même région, une famille au sens strict du terme (parents et enfants) se compose en moyenne de 5,5 personnes (5,3 personnes à Mata).

La superficie de terres disponibles par famille y est de 2,77 ha (2 ha à Mata) dont 0,88 ha (29 %) de terres améliorées (voir 3. Les sols).

Il existe une relation entre la densité de la population et le pourcentage de terres améliorées. Ces dernières sont donc d'origine anthropique.

15 % des sols sont situés sur des pentes inférieures à 15 %, 17 % sur des pentes comprises entre 15 et 35 %, 28 % sur des pentes entre 35 et 55 %, 40 % des terres se situent sur des pentes supérieures à 55 %.

La population est surtout concentrée sur les sommets et la partie supérieure des flancs de colline.

En se basant sur les chiffres de recensement des bureaux communaux, rassemblés par E. Gabriel dans une note technique "Carte des marchés agricoles du Rwanda", n° 5, 1973, ISAR, les régions d'altitude hébergent 1.250.000 d'habitants, soit 250 d'habitants par km^2. En adoptant le chiffre de 200 personnes par km^2 (région de la Rwondo) nous trouvons 1.000.000 d'habitants.

Vu les faibles rendements des cultures il va de soi que le niveau de vie peut être qualifié de très bas.

"La valeur du produit global net annuel par tête moyenne dans les exploitations familiales d'agriculture et d'élevage est partout inférieure à 4.000 Frs, tandis que le niveau monétaire net annuel par tête d'habitant dans ces exploitations n'atteignait nulle part 300 Frs.

Sur le flanc oriental de la dorsale au Rwanda, du fait des charges et impôts, le bilan d'une exploitation familiale se soldait même négativement ce qui obligeait les travailleurs masculins à émigrer.

L'autoconsommation de la population atteignait en valeur au Rwanda dans les régions des pâturages de Cyangugu et de la Mwaga respectivement 78 % et 84 % de la production globale brute.

L'analyse du revenu monétaire montre que celui-ci provient d'après la vocation des régions, de quelques cultures principales : bananier, (caféier) et cultures de tubercules (pommes de terre, manioc, patates douces)."

"Etude générale des possibilités de culture du Théier au Burundi et au Rwanda". J. Flémal, A.Herbillon et J.E. Kestemont, 1963, ISABU,ISAR.

3. LES SOLS.

3.1. Classification des sols.

Les sols des régions d'altitude du Rwanda se rangent parmi les hygro-kaolisols humifères de la classification INEAC. Dans la classification française ils pourraient être assimilés aux sols ferrallitiques humifères fortement désaturés en (B); dans le système USDA aux (sombric) haplohumox, dans le système FAO aux humic ferralsols. Soulignons immédiatement que ces sols ne trouvent dans aucun système une catégorie qui traduit exactement leurs caractéristiques.

3.2. Propriétés et évolution des sols.

A chaque zone écologique est associé un type de sol et le passage d'une zone à une autre entraîne des modifications importantes à la fois d'ordre morphologique et physico-chimique.

Les sols (ferrisols anthropiques) appartenant aux terroirs intensivement cultivés se distinguent des sols appartenant aux zones sous couvert naturel (forêt, recrû postforestier, prairie) par leur meilleure structure et leurs meilleures propriétés chimiques.

Ces améliorations sont le résultat des labours réguliers et de l'application d'amendements organiques. Les plus importantes caractéristiques chimiques des sols sont représentées sous forme d'histogrammes et de graphiques figurant dans "Les sols humifères des régions d'altitude au Rwanda, leur productivité et leur potentialité, H.Neel, ISAR. Note technique n° 11, 1972.

Nous en retenons que :

1) les sols sont riches en matière organique, surtout ceux sous couvert naturel.

2) ils sont pauvres en éléments nutritifs sous forme de cations échangeables.

3) ils sont acides (souvent pH <5) et le complexe d'échange cationique est faiblement saturé.

3.3. Productivité des sols.

A l'aide des essais en vases de végétation les carences minérales suivantes ont été déterminées dans un sol provenant d'une prairie à Eragrostis à Mata:

-très forte carence en phosphore
-forte carence en azote
-forte carence en potasse
-faible carence en magnésium.

La figure n° 1 représente les rendements des différents objets exprimés en % du rendement de l'objet ayant reçu une formule complète d'engrais.

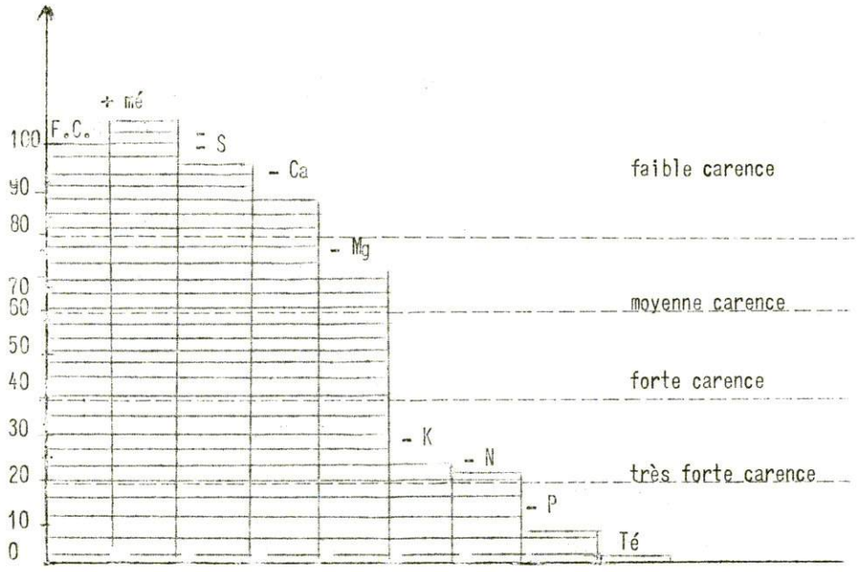


Fig. n° 1. Essais en vases de végétation. Production des divers objets exprimés en % de la production de l'objet ayant reçu une formule complète d'engrais.

F.C. = formule complète, + m.é. = F.C. + micro-éléments.
-S = F.C. moins soufre.....Té= témoin.

Le pH acide (souvent < 5) s'accompagne d'une forte teneur en aluminium- échangeable. La très forte carence en phosphore, constatée au champ également, est en relation avec la teneur en ce dernier élément. Il provoque la fixation du phosphore et peut être toxique en forte concentration.

Toutes les cultures n'y sont pas sensibles au même degré: le sarrasin et le théier sont peu sensibles, l'orge est très sensible. Les premières plantes se distinguent probablement des dernières par une meilleure utilisation des phosphates "fixés".

4. ESSAIS D'AMELIORATION : RESULTATS OBTENUS.

4.1. Essais engrais en milieu rural.

Entre 1970 et 1973 nous avons installé des simples parcelles d'essais engrais chimiques chez des fermiers bénévoles de la région de la Rwondo.

(Voir "Bilan de trois années d'essais engrais chimiques en milieu rural dans la région de la Rwondo" H.Neel, ISAR, note technique n° 14, 1973).

Pour les légumineuses nous avons appliqué 400 kg/ha NPK 10-5-20, pour les graminées 400 kg/ha NPK 20-10-10.

Le but de ces essais était :

- faire connaître aux fermiers des engrais chimiques
- obtenir des chiffres de rendement des diverses cultures en milieu rural
- déterminer la réaction des cultures aux engrais, appliqués en milieu rural .

Dans le tableau ci-dessous sont rapportés les résultats obtenus :

Culture : Haricot				
Type de sol	Ferrisols anthropiques		Autres sols.	
Traitement	Témoin	Engrais	Témoin	Engrais.
Rendement moyen 1970-sept. Kg/ha	356	433	278	295
Rendement moyen 1971-sept.	353	439	205	259
Rendement moyen 1972-sept.	221	276	161	178
Rendement moyen 1970 et 1972	310	383	215	244
Augmentation moyenne kg/ha	73		29	
Augmentation moyenne %	24		13	

Tableau n° 2 : Rendements du haricot sans et avec engrais chimiques (MPK 10-5-20, 400 kg/ha) entre 1970 et 1972. Région de la Rwonde

Culture : Petits Pois				
Type de sol	ferrisols anthropiques		Autres sols	
Traitement	Témoin	Engrais	Témoin	Engrais
Rendement moyen 1970-sept. kg/ha	365	558	182	259
Rendement moyen 1971-sept.	399	454	126	147
Rendement moyen 1972-sept.	261	457	91	131
Rendement moyen 1970 à 1972	342	490	133	179
Augmentation moyenne kg/ha	148		46	
Augmentation moyenne %	43		35	

Tableau n° 3. Rendements du petit pois sans et avec engrais chimiques (NPK 10-5-20, 400 kg/ha) entre 1970 et 1972. Région de la Rwondo.

Culture : Sorgho				
Type de sol	ferrisols antropiques			
Traitement	Témoin	Engrais	Témoin	Engrais
Rendement moyen 1971-février kg/ha	765	1.078	313	381
Augmentation moyenne kg/ha	313		68	
Augmentation moyenne %	41		22	

Tableau n° 4. Rendement du sorgho sans et avec engrais chimiques (NPK, 20-10-10, 400 kg/ha) en 1971 février. Région de la Rwondo.

CONCLUSIONS

-Les rendements des principales cultures de la région de la Rwondo (haricot, sorgho, petit pois) sont excessivement faibles.

-Il existe une différence de rendements d'après le type de sol. Les ferrisols antropiques, déjà améliorés par des apports réguliers de fumier et de déchets organiques, sont plus productifs. Toutefois les rendements restent très bas.

-L'augmentation des rendements, exprimée en kg/ha, suite à une application d'engrais chimiques est plutôt restreinte. Dans les ferrisols anthropiques la réponse aux engrais semble meilleure.

Il est évident que de telles augmentations des rendements ne justifient pas une application d'engrais chimiques.

Une étude approfondie de la productivité et de la potentialité de ces sols d'altitude s'impose. De même, une sélection de nouvelles variétés (cultures) mieux adaptées est nécessaire. Les techniques culturales, surtout quant à la culture du petit pois, devront être améliorées.

Les resultats obtenus en étudiant plus en détail la productivité et la potantialité des sols des régions d'altitude sont communiqués dans le paragrapne suivant :

4.2. Essais engrais chimiques et organiques à Mata.

En 1971 nous avons installé un champ d'essai dans une vieille prairie à Eragrostis située à Mata, en préfecture de Gikongoro.

(Voir "Essai d'amélioration des sols des prairies d'altitude à Mata" 1971-1973 H.Neel, H.De Prins, ISAR, note technique n° 15, 1973).

Les résultats sont résumés dans les tableaux ci-dessous:

Tableau n° 5.

MATA	Essai engrais chimiques	
Culture : éleusine	Saison : 1971-sep.	Objets : 9

A : écobuage, méthode traditionnel

B : témoin, enfouissement de l'Eragrostis

C : 200 k/ha d'engrais NPK, 20-10-10

D : 400 kg/ha " " "

E : 600 kg/ha " " "

F : 2000 kg/ha de chaux

G : 2000 kg/ha de chaux + 200 kg/ha d'engrais NPK 20-10-10

H : 2000 kg/ha de chaux + 400 kg/ha d'engrais NPK 20-10-10

I : 2000 kg/ha de chaux + 600 kg/ha d'engrais NPK 20-10-10

Objet	Rendements kg/ha
I	2.173
H	1.899
E	1.578
G	1.449
D	1.267
C	913
F	830
A	811
B	536

Conclusions :

- La chaux a eu un effet très bénéfique, ainsi que les engrais chimiques.
- Il n'y a pas d'effet significatif de la dose de 200 kg/ha quand elle n'est pas précédé d'un chaulage.
- Les objets à chaux et engrais sont chaque fois supérieure aux objets à engrais seuls.

Tableau N° 6.

MATA	Essai engrais chimiques	
Culture : froment	Saison : 1973-février	Objets : 9

A : méthode traditionnel, semis à la volée
B : témoin
C : 200 kg/ha d'engrais NPK, 20-10-10
D : 400 kg/ha " " "
E : 600 kg/ha " " "
F : 2000 kg/ha de chaux (appliqué le 8-9-1972)
G : " " " " + 200 kg/ha NPK, 20-10-10
H : " " " " + 400 kg/ha " "
I : " " " " + 600 kg/ha " "

Objet	Rendement kg/ha
I	1.360
H	1.247
G	790
F	447
E	96
C	62
D	60
B	51
A	40

Conclusions :

- Les engrais chimiques sans chaux même appliqués à raison de 600/kg/ha n'ont pas le moindre effet.(x)
- La chaux a un effet très bénéfique ; elle est absolument nécessaire pour qu'il y ait une réponse favorable aux engrais.
- Il n'y a pas de différence significative entre chaux + 600 kg d'engrais et chaux + 400 kg d'engrais.
- Il y a une différence certaine entre chaux + 400 kg et chaux + 200 kg.
- Il y a une différence probable entre chaux + 200 kg et chaux toute seule.

(x) Avant le froment en saison 1972-septembre, la culture des petits pois au même champ, a donné des rendements excessivement faibles suite aux dégâts d'origine phytopathologique. Néanmoins les chiffres de production ensemble avec les observations au champ conduisent à des conclusions semblables que pour le froment.

Tableau n° 7.

MATA	Essai engrais chimiques	
Culture : froment	Saison : 1973 - février	Objets : 18

A : témoin

B : 1000 kg/ha de chaux (appliqué 12-9-1972)

C : 4500 kg/ha " "

D : 8000 kg/ha " "

E : 1000 kg/ha de chaux + 100 kg/ha de N + 200 kg/ha de K_2O .

F : 4500 kg/ha " + " " + " " "

G : 8000 kg/ha " + " " + " " "

H : 1000 kg/ha de chaux + 100 kg/ha de N + 200 kg/ha de K_2O + 100 kg/ha P_2O_5

I : 4500 kg/ha " " + " " " + " " " + " " "

J : 8000 kg/ha " " + " " " + " " " + " " "

K : 1000 kg/ha de chaux + 100 kg/ha de N + 200 kg/ha de K_2O + 200 kg/ha P_2O_5

L : 4500 kg/ha " " + " " " + " " " + " " "

M : 8000 kg/ha " " + " " " + " " " + " " "

N : 1000 kg/ha de chaux + 100 kg/ha de N + 200 kg/ha de K_2O + 300 kg/ha P_2O_5

O : 4500 kg/ha " " + " " " + " " " + " " "

P : 8000 kg/ha " " + " " " + " " " + " " "

Q : 100 kg/ha de N + 200 kg/ha de K_2O

R : 100 kg/ha de N + 200 kg/ha de K_2O + 200 kg/ha P_2O_5

Objet	Rendement kg/ha
P	1.883
O	1.852
L	1.787
M	1.655
N	1.474
K	1.337
I	1.285
J	1.201

Conclusions

-Il n'y a pas le moindre effet des engrais chimiques sans application de chaux.

-Il y a peu ou pas d'effet des engrais azotés et potassiques, même après chaulage.

-Tous les objets avec chaux + N+K+P sont certainement supérieurs aux objets sans phosphore. Les rendements augmentent sensiblement.

-4500 kg/ha de chaux est aussi efficient que 8000 kg/ha; 1000 kg est trop peu.

Objet	Rendement kg/ha	Conclusions
H	761	- 200 kg/ha de P_2O_5 est aussi efficient que 300 kg mais supérieur à 100 kg.
F	574	-Seulement la chaux, appliquée toute seule à raison de 8000 kg/ha a un effet probable.
G	472	
D	289	
C	242	
E	203	
B	131	
A	18	
R	22	
Q	10	

Tableau N° 8.

MATA	Essai engrais chimiques	
Culture : haricots	Saison : 1973 -septembre	Objets : 9

A : méthode traditionnel : semis à la volée

B : témoin

C : 200 kg/ha d'engrais NPK, 10-25-10

D : 400 kg/ha " " "

E : 600 kg/ha " " "

F : 2000 kg/ha de chaux (appliqué le 8-9-1972)

G : " " " " + 200 kg/ha d'engrais NPK, 10-25-10

H : " " " " + 400 kg/ha " " "

I : " " " " + 600 kg/ha " " "

Objet	Rendement kg/ha	Conclusions :
I	927	-sans chaulage préalable les engrais chimiques n'ont pas le moindre effet
H	826	-l'arrière effet du chaulage se fait toujours sentir. Il y a un effet marqué des engrais après chaulage.
G	616	-après chaulage 600 kg/ha d'engrais NPK est probablement supérieur à 400 kg et certainement supérieur à 200 kg.
F	549	-Entre 400 kg et 200 kg il existe une différence significative
E	146	200 kg/ha n'a pas d'effet.
D	99	
A	61	
C	56	
B	52	

Tableau n° 9.

MATA	Essai engrais chimiques	
Culture : haricots	Saison : 1973-septembre	Objets : 18

A : témoin

B : 1000 kg/ha de chaux (appliqué 12-9-1972)

C : 4500 kg/ha " "

D : 1000 kg/ha de chaux + 30 kg/ha de N + 50 kg/ha de K_2O

E : 4500 kg/ha " " + " " " + " " "

F : 8000 kg/ha " " + " " " + " " "

G : 8000 kg/ha de chaux + 200 kg/ha de P_2O_5

H : 1000 kg/ha de chaux + 30 kg/ha de N + 50 kg/ha K_2O + 100 kg de P_2O

I : 4500 kg/ha de " + " " + " " " + " "

J : 8000 kg/ha de " + " " + " "" " + " "

K : 1000 kg/ha de chaux + 30 kg/ha N + 50 kg/ha K_2O + 200 kg/ha P_2O_5

L : 4500 kg/ha " " + " " + " " " + " " "

M : 8000 kg/ha " " + " " + " " " + " " "

N : 1000 kg/ha de chaux + 30 kg/ha N + 50 kg/ha K_2O + 300 kg/ha P_2O_5

O : 4500 kg/ha " " + " " + " " " + " "

P : 8000 kg/ha " " + " " + " " " + " "

Q : 30 kg/ha N + 50 kg/ha K_2O

R : 30 kg/ha " + " " " + 200 kg/ha P_2O_5

Objet	Rendements kg/ha
M	1.096
O	1.089
J	1.070
L	973
I	947
P	945
E	634

Conclusions :

-il n'y a toujours pas d'effet des engrais chimiques sans chaulage préalable.

-des rendements satisfaisants sont seulement obtenus avec la chaux à raison de 4500 kg/ha ou plus accompagnée d'une application d'azote, potasse et phosphore.

-ils n'existent pas de différences significatives entre les différentes doses de phosphore.

Objet	Rendements kg/ha	Conclusions:
N	605	-4500 kg/ha de chaux est aussi bénéfique que 8000 kg/ha, 1000 kg/ha
K	574	est trop peu compte tenu des faibles rendements même avec des fortes
F	544	doses de phosphore.
H	380	-les engrais azotés et potassiques sont également nécessaires :
G	362	l'objet à 8000 kg/ha de chaux + 200 kg/ha P_2O_5 produit 362 kg
C	242	d'haricot/ha contre 945 kg/ha après addition de NK.
D	202	
R	167	
B	131	
Q	97	
A	22	

Tableau N° 10

MATA	Essai engrais chimiques	
Culture : froment	Saison : 1974-février	Objets : 9

A : méthode traditionnel : semis à la volée

B : témoin

C : 200 kg/ha d'engrais NPK, 10-25-10

D : 400 kg/ha " " "

E : 600 kg/ha " " "

F : 2000 kg/ha de chaux (appliqué le 8-9-1972)

G : " " " " + 200 kg/ha d'engrais NPK, 10-25-10

H : " " " " + 400 kg/ha " " "

I : " " " " + 600 kg/ha " " "

Objet	Rendement kg/ha	Conclusions:
I	1.185	- Il n'y a pas le moindre effet des engrais chimiques sans chaulage
H	1.012	préalable. Rendement 0.
G	600	- Après chaulage (en 1972) l'effet des engrais est marqué.
F	392	-600 kg/ha est aussi bénéfique que 400 kg/ha mais supérieur
E	0	à 200 kg/ha.
D	0	- chaux + 200 kg/ha n'est juste pas significativement supérieur
C	0	à chaux tout seul.
B	0	- après 4 saisons culturales l'arrière-effet de la chaux se fait
A	0	toujours sentir.

Tableau n° 11.

MATA	Essai engrais chimiques	
Culture : froment	Saison : 1974-février	Objets : 18

A : témoin

B : 1000 kg/ha de chaux (appliqué le 12-9-1972)

C : " " " + 60 kg/ha N + 50 kg/ha K_2O

D : 4500 kg/ha de chaux + " + "

E : 8000 kg/ha de chaux + 200 kg/ha P_2O_5

F : 4500 kg/ha de chaux + 50 kg/ha K_2O + 200 kg/ha P_2O_5

G : 8000 kg/ha de chaux + 60 kg/ha N + 200 kg/ha P_2O_5

H : 1000 kg/ha de chaux + 60 kg/ha N + 50 kg/ha K_2O + 100 kg/ha P_2O_5

I : 4500 kg/ha " " + " " + " " " + " "

J : 8000 kg/ha " " + " " + " " " + " "

K : 1000 kg/ha de chaux + 60 kg/ha N + 50 kg/ha K_2O + 200 kg/ha P_2O_5

L : 4500 kg/ha " " + " " + " " " + " " "

M : 8000 kg/ha " " + " " + " " " + " " "

N : 1000 kg/ha de chaux + 60 kg/ha N + 50 kg/ha K_2O + 300 kg/ha P_2O_5

O : 4500 kg/ha " " + " " + " " + " "

P : 8000 kg/ha " " + " " + " " + " "

Q : 60 kg/ha N + 50 kg/ha K_2O

R : 60 kg/ha N + 50 kg/ha K_2O + 200 kg/ha P_2O_5

Objet	Rendement kg/ha
P	1.672
O	1.651
M	1.452
L	1.105
J	1.105

Conclusions:

-l'effet du chaulage se fait toujours sentir.

-4500 kg/ha de chaux a toujours le même effet que 8000 kg/ha.

-200 kg/ha P_2O_5/ha est toujours aussi efficient que 300 kg/ha P_2O_5 mais supérieur à 100 kg/ha P_2O_5.

-l'effet de 1.000 kg/ha de chaux est beaucoup moins prononcé.

Objet	Rendement kg/ha	Conclusions:
I	923	-il y a un effet marqué de l'azote et du potasse : 2 chaux + NK + P_2 produit 1.105 kg/ha, 2 chaux + K + P_2 produit 288 kg/ha; 3 chaux + NK + P_2 produit 1.452 kg/ha; 3 chaux + N + P_2 seulement 806 kg/ha.
G	806	
N	777	
K	735	
E	517	
D	513	
H	297	
F	288	
R	183	
Q	146	
C	86	
B	24	
A	0	

Tableau n° 12.

MATA	Essai fumier de vache	
Culture : maïs	Saison : 1973-février	Objets : 4

A : témoin
B : fumier : 35 tonnes /ha
C : " " + 100 kg/ha P_2O_5
D : " " + 200 kg/ha P_2O_5

Objet	Rendement kg/ha	Conclusions :
D	1.088	-les rendements sont faibles
C	1.000	-il y a un effet net du fumier
B	958	-appliqué ensemble avec le fumier, le phosphore n'a pas d'effet.
A	0	-sans amendement rendement 0.

Tableau n° 13.

MATA	Essai fumier de vache	
Culture : haricots	Saison : 1973-septembre	Objets : 4

A : témoin
B : fumier : 35 tonnes/ha
C : " " + 100 kg/ha P_2O_5
D : " " + 200 kg/ha P_2O_5

Objet	Rendement kg/ha	Conclusion
C	1.013	-après 3 applications de fumier à fortes doses les rendements
D	983	deviennent satisfaisants et atteignent le même niveau qu'avec
B	983	les engrais chimiques + chaux.
A	54	-pas d'effet du phosphore appliqué en même temps que le fumier

Tableau n° 14.

MATA	Essai fumier de vache	
Culture : froment	Saison : 1974-février	Objets : 4

A : témoin
B : fumier : 35 tonnes/ha
C : " " + 100 kg/ha P_2O_5
D : " " + 200 kg/ha P_2O_5

Objet	Rendement kg/ha	Conclusions:
D	1.197	-effet très bénéfique du fumier
C	1.173	-pas d'effet du phosphore
B	1.095	-rendement 0 pour le témoin
A	0	

CONCLUSIONS :

-La productivité des sols des prairies d'altitude est quasi 0.

-Des engrais chimiques tous seuls ne sont pas en mesure d'améliorer cette productivité.

-Des engrais chimiques appliqués après un chaulage préalable ont un effet très bénéfique :

Les rendements de l'éleusine augmentent de 536 kg à 2173 kg/ha, ceux du froment de 0 kg à 1800 kg/ha, ceux du haricot de 22 à 1096 kg/ha.

-Parmi les engrais chimiques, le phosphore est d'une première importance, l'azote et le potasse sont également nécessaires.

-Après 3 applications de 35 tonnes/ha de fumier de vache concentré, les résultats obtenus équivalent ceux obtenus avec la chaux et les engrais chimiques. Il s'agit d'un amendement complet: une addition de phosphore n'est pas nécessaire.

4.3. Essais en vases de végétation.

Le sol de Mata, ainsi que d'autres sols des régions d'altitude, ont fait l'objet d'une étude de fertilité entreprise à l'aide des essais en vases de végétation.

Quant au sol de Mata nous avons déjà fait mention de la détermination des carences minérales du sol en vases de végétation (voir page11) Les résultats acquis corraborent ceux provenant du champ expérimental.

Ces essais en vases nous ont permis de vérifier l'hypothèse émise au sujet du rôle joué par la chaux en relation avec l'aluminium- échangeable dans le sol.

L'aluminium intervient dans la "fixation" du phosphore; de là pas d'effet des engrais chimiques. Le rôle de la chaux est d'inactiver cet aluminium; de là un effet spectaculaire des engrais, après chaulage.

Le fumier concentré, utilisé à fortes doses, contient une quantité appréciable de phosphore, qui par sa décomposition lente deviendrait progressivement disponible aux plantes, sans être "fixé " gravement.

Que l'assimilabilité du phosphore est un problème est prouvé par le fait que 60 kg/ha de P_2O_5, répétés 3 fois, semble nécessaire pour exporter 11,50 kg de P_2O_5 contenu dans 1360 kg de graines et 3871 kg de paille de froment.

La figure n° 2 met bien en évidence le rôle de la chaux dans l'assimilabilité du phosphore.

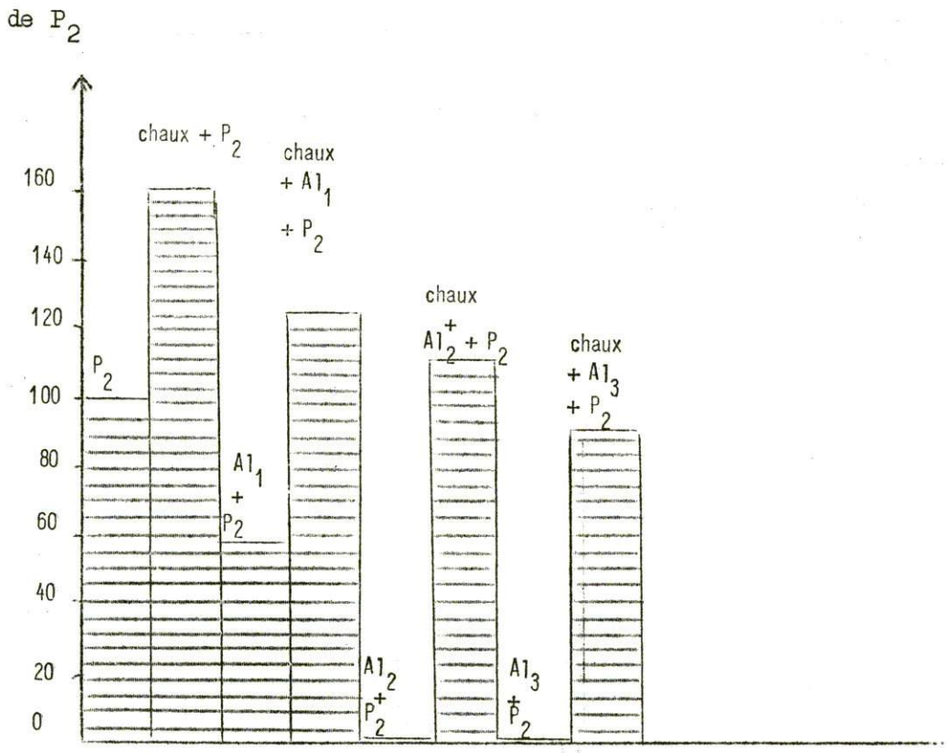


Fig.n° 2. Essai en vases de végétation. Production de feuilles sèches des différents objets exprimée en % de la production de l'objet P_2.

P_2 = NK Mg + P_2 (niveau 2 de phosphore)

Al_I + P_2 = " " + niveau I d'aluminium

Al_2 + P_2 = " " + niveau 2 "

Al_3 + P_2 = " " + niveau 3 "

Dans le tableau n° 14 sont résumées les propriétés chimiques du sol à Mata, influencées par le chaulage et l'application des engrais chimiques.

Tableau n° 15. Propriétés chimiques du sol avant et après application de chaux et engrais.

	Bloc A : chaux + engrais				Bloc B : engrais.			
Analyse	1971 août avant chaux et engrais	1972 août après 2000 kg/ha de chaux et engrais chimiques (1 fois)	1973-février après 2000 kg/ha de chaux et engrais chimiques (2 fois)	1973-août après engrais (3 X)	1971-août avant engrais	1972-août après engrais (1 fois)	1973-février après engrais engrais (2 fois)	1973-août après engrais (3 fois)
pH	4,69	4,89	4,71	4,91	4,68	4,67	4,49	4,48
Ca	1,81	3,10	3,70	2,93	1,71	1,72	1,75	0,06
Mg	0,62	0,75	0,72	0,51	0,59	0,59	0,60	0,06
K	0,09	0,09	0,18	0,24	0,08	0,13	0,16	0,13
S	2,53	3,94	4,59	3,68	2,38	2,42	2,50	0,25
C.E.C.	18,27	17,66	17,22	18,31	17,52	17,44	16,93	16,86
V	13,60	22,41	26,36	20,10	13,54	14,03	14,78	1,48
Al^{3+}	4,05	3,62	2,37	2,27	4,27	3,93	3,79	3,71
extr.Al	13,79	14,20	15,00	?	15,52	17,02	15,06	?

Ce tableau nous renseigne sur le rôle que la chaux joue dans l'amélioration du sol:

- le pH accroit très légèrement.
- les teneurs en calcium-et magnésium échangeable augmentent, un meilleur degré de saturation du complexe d'échange en résulte.
- la teneur en aluminium - échangeable diminue.

5. PROPOSITIONS POUR L'AMENAGEMENT AGRICOLE DES REGIONS D'ALTITUDE.

Compte tenu des résultats obtenus avec des amendements de nature chimique et organique, décrits dans les pages précédentes, il est possible d'améliorer sensiblement la productivité des sols d'altitude.

Nous avons vu qu'il s'agit de plus de 500.000 ha ; ± 200.000 ha (40 %) sont situés sur des pentes supérieures à 55 %.

Tous les efforts de réforestation et d'amélioration des pâturages doivent être concentrés sur cette catégorie de sols.

Vu la faible valeur bromatologique des graminées (Eragrostis...) une amélioration des pâturages par des plantes fourragères est absolument nécessaire.

Après la mise en culture, au stade actuel, les travaux de lutte anti-érosive sont trop importants si on veut y utiliser des amendements chimiques. D'ailleurs le manque de bois dans ces régions est souvent très actuel.

Si le niveau de vie des populations qui y habitent veut être augmenté, les 300.000 ha qui restent devront être intensivement exploités par utilisation d'amendements. De ces 300.000 ha plus ou moins 30 %, 90.000 ha, sont déjà partiellement améliorés (ferrisols anthropiques). Restent donc 210.000 ha de terres à productivité très faible.

Pour améliorer ces sols nous proposons de commencer par un chaulage:

-2000 kg/ha dans les ferrisols anthropiques à pH inférieur à 5,2.

-4000 kg/ha dans les autres sols.

En comparaison avec les doses de chaux nécessaires pour relever le pH à 6 (± 27 tonnes/ha pour le sol de Mata) il s'agit ici de très faibles quantités mais apparemment suffisantes pour remédier à la "fixation" du phosphore par l'aluminium.

Nous nous demandons si une application de chaux à faible dose n'aurait pas comme résultat un meilleur rendement des engrais phosphatés dans le théier malgré que ce dernier se contente bien d'un milieu riche en aluminium - échangeable.

Après 5 ans une 2e application de chaux à raison de 2000 kg/ha pourrait être nécessaire dans les sols non ferrisoliques.

Au stade actuel des essais nous pouvons déjà certifier que l'effet bénéfique de la chaux durera au moins pendant 4 saisons culturales.

Le chaulage doit être accompagné d'un épandage d'engrais chimiques, riches en phosphore :

-400 kg/ha NPK, 15-20-10 la première année
-400 kg/ha NPK, 15-20-10 la deuxième année (3e saison culturale)

Le fumier produit par une ferme rwandaise est insuffisant pour entretenir la fertilité de la totalité des terres. Néanmoins compte tenu de l'augmentation excessive des prix des engrais chimiques le fumier aura un grand rôle à jouer dans l'enrichissement du compost dont la fabrication est à intensifier.

Après la restauration de la fertilité des sols par les amendements chimiques (chaux et engrais) des applications régulières d'amendements organiques sont nécessaires pour entretenir cette fertilité.

Il est irréel de compter sur 30 tonnes/ha de fumier de vache. Une telle quantité à été utilisée à Mata pour bien mettre en évidence la valeur fertilisante du fumier et que les ferrisols anthropiques se sont formés grâce à des applications régulières d'amendements organiques pendant des dizaines d'années.

Mais il est bien possible de constituer une compostière importante avec les déchets organiques provenant de la maison avec les déchets des cultures avec les coupes des haies anti-érosives et avec le fumier de vache et de chèvre.

6. CONSIDERATIONS ECONOMIQUES.

Prenons maintenant en considération les frais entamés pour améliorer les sols à Mata.

Calculons d'abord en se basant sur les prix de la chaux et des engrais en vigueur avant la récente hausse.

Dépenses :

-chaux : 4 tonnes/ha à 5 Fr/kg....	20.000 Fr
-engrais:4 x 400 kg/ha à 12 Fr/kg....	19.200 Fr
Total	39.200 Fr

Rentrées (x)

-éleusine: 1088 kg/ha à 10 Fr/kg....	10.880 Fr
-froment : 1196 kg/ha à 15 Fr/kg....	17.940 Fr
-haricot : 774 kg/ha à 10 Fr/kg	7.740 Fr
-froment : 1012 kg/ha à 15 Fr/kg	15.180 Fr
Total	51.740 Fr

(x) pour les rentrées l'augmentation de la production par rapport au témoin est considérée.

Bénéfice : 51.740 Fr - 39.200 Fr = 12.540 Fr.

Calculons maintenant en se basant sur les prix actuels de la chaux et des engrais :

Dépenses:

-chaux : 4 tonnes/ha à 8 Fr/kg..... 32.000 Fr
-engrais: 4 x 400 kg/ha à 25 Fr/kg..... 40.000 Fr

Total 72.000 Fr

Rentrées :

- Total.....51.740 Fr

"Pertes"

72.000 Fr - 51.740 Fr = 20.260 Fr.

Ajoutons directement que :

I) même avec la hausse actuelle des prix la rentabilité aurait été assurée si, au lieu des haricots, des pommes de terre auraient été cultivées.

2) Sans amendements les rendements des cultures sont souvent quasi 0.

Il est donc indispensable de considérer les investissements en matière d'éléments fertilisants comme une "condition sine qua non" pour relever le niveau de vie des populations habitant les régions d'altitude dont il est question ici. Ils sont à considérer comme des investissements de base comme pour l'infrastructure routière dans l'installation d'un paysannat.

3) Les meilleures propriétés physiques et chimiques résultantes du sol qui joueront à plus longue échéance ne peuvent pas être chiffrées.

4) Les vivres seront produits sur place. Des émigrations vers d'autres régions problématiques deviendraient moins nécessaires. Les augmentations spectaculaires des rendements faciliteraient aux gens d'accepter d'autres techniques requises par une société plus moderne.

5) Les prix pour les vivres sont des prix moyens,actuellement ils sont nettement plus élevés.

6) Une sélection ou introduction peut fournir des variétés à meilleur rendement (haricots, froment Nortêno)

7) Il doit être possible, d'exploiter la chaux, un produit local, à des frais moins élevés.

Si, au lieu de revenir tous les ans avec des engrais, on peut compter après 2 applications sur du compost, les dépenses pour engrais se chiffrent à 20.000 Frs au lieu de 40.000 Frs ce qui réduit les "pertes" à 0.

Avec une intervention financière qui vise la mise en place d'un bon cadre de vulgarisateurs et l'achat de la chaux et des engrais pendant quelques années il est donc probable de déclencher le développement agricole de ces régions d'altitude, actuellement si désavantagées.

APPENDIX N° III

BIBLIOGRAPHY

1. Abruna F., Vicente-Chandler J., Pearson R.W. "Effects of liming on yields and composition of heavily fertilized grasses and on soil properties under humid tropical conditions." Soil science Soc.Am.Proc., vol.28, 1964, N° 5.

2. Adams F., Lund Z.F. "Effect of chemical activity of soil solution aluminium on cotton root penetration of acid subsoils." Soil science, vol.101, 1966, n°3.

3. Chaminade R. et collaborateurs, "Bilan de trois années d'expérimentation en petits vases de végétation." Agronomie tropicale, novembre 1965, n° 11.

4. Chenery E.N. "A preliminary study of aluminium and the tea bush" Plant and soil, vol.6, 1955, n° 2.

5. Coleman N.T., Weed S.B., Mc Cracken R.J. "Cation-exchange capacity and exchangeable cations in Piedmont soils of North Carolina." Soil Sc.Soc.Am.Proc.,vol.23, 1959, n°2.

6. Foy C.D., Brown J.C. "Toxic factors in acid soils: II.Differential aluminium tolerance of plant species." Soil Sc.Am.Proc., vol.28, 1964, N°1.

7. Lance J.C.,Pearson R.W. "Effect of low concentrations of aluminium on growth and water and nutrient uptake by cotton roots."

8. Lin C,, Coleman N.T. "The measurement of exchangeable aluminium in soils and clays. "Soil Sc.Am.Proc., vol.24,1960, n°6.

9. Mahilum B.C., Fox R.L., Silva J.A. "Residual effects of liming volcanic ash soils in the humid tropics. "Soil science, vol.109, 1970, n°2.

10. McLean E.O, Heddleson M.R., Bartlett R.J., Holowaychuk N. "Aluminium in soils: I.Extraction methods and magnitudes in clays and Ohio soils. "Soil Sc.Am.Proc., vol.22, 1958, n° 5.

11. McLean E.O., Hourigan W.R., Shoemaker H.E., Bhumbla D.R. "Aluminium in soils:V.Form of aluminium as a cause of soil acidity and a complication in its measurement."Soil science, vol.97, 1964, n°2.

12. McLean E.O., Reicosky D.C., Lakshmanan C. "Aluminium in soils: VII.Interrelationships of organic matter, liming, and extractable aluminium with "permanent charge" (KCl)and pH-dependent cation-exchange capacity of surface soils. "Soil Sc.Am.Proc.,vol.29, 1965, n° 4.

13. McLean E.O., Dumford S.W., Coronel F. "A comparison of several methods of determining lime requirements of soils. "Soil Sc.Am., Proc.,vol.30,1966, n°1.

14. Neel H. "Région de Mata, étude pédologique".1968,ISAR-RWANDA.

15. Neel H. "Région de la Rwondo, étude pédologique". 1971,ISAR-Rwanda

16. Neel H. "Les sols humifères des régions d'altitude au Rwanda, leur productivité et leur potentialité". 1972, ISAR-RWANDA.

17. Neel H."Recherche des carences minérales des sols des plages infertiles de la région volcanique (essai en vases de végétation) 1973, ISAR-RWANDA.

18. Neel H."Bilan de trois années d'essai engrais en milieu rural dans la région de la Rwondo." 1973, ISAR-RUBONA.

19. Neel H., De Prins H. "Essai d'amélioration des sols des prairies d'altitude à Mata(1971-1973), 1973, ISAR-Rubona.

20. Plucknett D.L.,Sherman G.D. "Extractable aluminium in some Hawaian soils."Soil Sc.Am.Proc., vol.27,1963, n°1.

21. Ragland J.L., Coleman N.T. "The effect of soil solution aluminium and calcium on root growth. "Soil Sc.Am.Proc., vol.23, 1959, n°5.

22. Reeve N.G.,Sumner M.E. "Effects of aluminium toxicity and phoshorus fixation on crop growth on oxisols in Natal." Soil Sc.Am. Proc.,vol.34,1970, n°2.

23. Reeve N.G., Sumner M.E. "Lime requirements of Natal oxisols based on exchangeable aluminium." Soil Sc.Am.Proc., vol.34,1970, n°4.

24. Shoemaker H.E.,McLean E.O., Pratt P.E., "Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminium." Soil Sc.Am.Proc., vol.25, 1961, n°4.

25. Tondon H.L.S. "Fluoride-extractable aluminium in soils : I.Its relation to fluoride-extractable phosphorus." Soil Science, vol.108, 1969, n°6.

26. Tandon H.L.S. "Fluoride-extractable aluminium in soils : II.As index of phosphate retention by soils." Soil Science, vol.109 1970,n°1.

27. Woodruff C.M. "Testing soils for lime requirement by means of a buffered solution and the glass electrode." Soil Science, vol.66, 1948.

Annexe n° 4

Méthodes analytiques

GRANULOMETRIE

8 Fractions, exprimées en % de la partie minérale du sol sèché à l'air. Méthode d'Atterberg avec dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium. La fraction de 0 à 2 microns est déterminée par différence, ce qui fait que la matière organique est également comprise dans cette fraction.

ACIDITE (pH)

Le pH est déterminé dans une suspension en eau (1/2,5)

CARBONE

Méthode de Walkley et Black, exprimé en % du sol sèché à l'air.

AZOTE.

Méthode de Kjeldahl, en % du sol sèché à l'air. Azote total.

CATIONS ECHANGEABLES ET CAPACITE D'ECHANGE

Extraction à l'acétate d'ammonium 1N, pH 7, exprimé en méq/100 g de terre.

CARACTERISATION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION FINE (0-20 microns)

Etude minéralogique aux rayons-X.

PHOSPHORE

Méthode de Truogg, exprimé en ppm.(mg par kg)