

## ÉVOLUTION BIOLOGIQUE DE DEUX SOLS A MADAGASCAR

par

J. BOSSER, Cl. MOUREAUX et R. PERNET

Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer  
(Madagascar)

Nous nous sommes proposés dans cette note d'exposer deux cas d'évolution de l'activité biologique et du complexe organo-minéral. L'un a trait aux sols de marais drainés mis en rizières, l'autre aux prairies de pente en cours de dégradation.

### SOLS ORGANIQUES DE RIZIERES

Il s'agit à l'origine de sols du Lac Alaotra à submersion temporaire en saison des pluies (7). Ce sont des alluvions lacustres latéritiques très argileuses sur lesquelles un horizon organique plus ou moins important s'est développé dans les conditions d'hydromorphie.

La création de rizières doit s'accompagner d'un abaissement du plan d'eau car ces sols sont recouverts d'eau, dans les conditions naturelles, pendant une période plus ou moins longue de l'année, l'inondation étant maxima pendant l'été austral, saison la plus favorable à la croissance du Riz.

La mise en valeur s'accompagne donc d'un drainage ménagé qui a pour résultat d'amener un certain nombre de transformations dans les sols.

Les prélèvements, formés d'échantillons composites, ont été effectués pendant la saison sèche de 1955 (juillet). Nous avons pris comme premier terme de l'évolution un sol récupéré depuis un an (Pal a) ayant subi une première culture de Riz et occupé, au moment du prélèvement en saison sèche, par une jachère à *Eleocharis plantaginea* R. Br. avec *Alternanthera sessilis* R. Br., *Gnaphalium luteo-album* L., *Paspalum Commersoni* Lamk, *Ageratum conyzoides* L., *Leersia hexandra* Sw. L'engorgement de ce sol est encore presque permanent.

Le stade suivant est représenté par des rizières encore jeunes (Pal b) portant une végétation d'*Echinochloa stagnina* Beauv. Une évolution plus avancée se manifeste dans les vieilles rizières comportant une teneur plus forte en argile et nettement plus faible en matière organique (Pal c). La végétation de saison sèche y est une prairie à *Leersia hexandra* Sw. et *Cynodon dactylon* Pers. avec *Ageratum conyzoides* L., *Pycnus tremulus* Clarke, *Cyperus maculatus* Boeck, *Echinochloa stagnina* Beauv. L'engorgement s'étend encore sur une grande partie de l'année.

Nous avons pris le dernier stade sur une très ancienne rizière encore mieux drainée, l'engorgement ayant lieu seulement en saison des pluies

(Pal d). Cette rizière était en jachère depuis 5 ans avec *Digitaria Humberti* A. Camus et *Cynodon dactylon* Pers. Ces jachères sont assez fréquentes en riziculture au Lac Alaotra où les sols cultivables sont relativement étendus; malgré l'amélioration du drainage, ces jachères amènent un net relèvement du stock organique du sol.

Le tableau 1 donne les teneurs en carbone, azote et la valeur du pH.

TABLEAU 1

N°	C ‰	N ‰	C/N	pH
PAL a .....	87	4,0	21,8	4,8
PAL b .....	78	5,9	13,2	4,8
PAL c .....	22	1,8	12,8	5,0
PAL d .....	84	3,6	23,4	4,8

Il y a donc abaissement progressif de la teneur en carbone dans ces rizières cultivées de façon continue (Pal a, b, c) tandis que le taux d'azote, restant élevé dans les premières années (Pal a et b), s'abaisse nettement par la suite (Pal c).

L'oxydation du stock organique cause un abaissement continu du rapport C/N.

On voit qu'après jachère prolongée (Pal d) il y a retour vers les conditions premières.

Du point de vue microbiologique, nous avons obtenu les résultats suivants :

TABLEAU 2

N°	Nx	Na	N-NO <sub>3</sub> im	N-NO <sub>3</sub> 4s	N-NO <sub>3</sub> min	CO <sub>2</sub>	Ig	Es
PAL a. ....	810	290	12,0	59,2	47,2	11,7	51,8	9,3
PAL b. ....	500	60	9,4	40,0	30,6	5,9	49,0	10,4
PAL c. ....	80	170	16,7	24,5	7,8	11,3	61,2	12,8
PAL d. ....	80	1 460	4,0	29,7	25,7	17,1	95,2	12,3

Nx : nombre de colonies nitreuses par g de sol sur silicogel (6).

Na : nombre de colonies fixatrices d'azote par g de sol (*Azotobacter indicum acidophile*) (1).

N-NO<sub>3</sub> im : teneur initiale du sol en azote nitrique en p.p.m.

N-NO<sub>3</sub> 4s : teneur du sol en azote nitrique après incubation 4 semaines à 30° à l'humidité au champ.

N-NO<sub>3</sub> minér. : azote minéralisable d'après Drouineau (2).

CO<sub>2</sub> : mg CO<sub>2</sub> dégagé par 20 g de sol en 5 jours à 30° (à l'humidité au champ).

Ig : activité biologique globale d'après l'indice de consommation du glucose chiffré de 0 à 100 (4).

Es : pouvoir enzymatique saccharase d'après Hofmann (3).

On voit que l'activité nitrificatrice du sol, si on la juge par le nombre de germes nitreux diminue de façon continue. La densité des *Azotobacter* diminue également jusqu'à (Pal c) mais dépasse le niveau initial dans la vieille rizière restée en jachère.

L'azote minéralisable qui représente la différence entre l'azote nitrrique accumulé en 4 semaines à l'étuve à 30° dans le sol humide et la teneur initiale du sol en azote nitrrique diminue aussi avec l'âge de la rizière mais remonte fortement après jachère. L'indice glucose et le pouvoir enzymatique saccharase, de niveau moyen dans la rizière d'un an, varient peu dans les premières années suivantes malgré la baisse de la respiration du sol.

Ces indices d'activité biologique globale s'améliorent très sensiblement par la suite et en vieilles rizières atteignent presque (CO<sub>2</sub>) ou dépassent (Ig, Es) le niveau de la rizière d'un an.

Après jachère (Pal d), une forte amélioration de l'activité biologique globale est marquée par les trois indices (CO<sub>2</sub>, Ig et Es) qui dépassent nettement leur valeur première.

En résumé, au point de vue microbiologique, nous voyons que l'évolution des premières années se traduit par un abaissement général de l'activité biologique du sol qui accompagne d'ailleurs la chute du taux de carbone. Par la suite, l'activité biologique globale s'améliore comme si une adaptation était réalisée bien que le carbone continue à diminuer.

La faible densité des *Azotobacter* ne doit pas être un inconvénient puisque les Algues bleues, abondantes en sols de rizière, fixent l'azote atmosphérique. La nitrification, d'autre part, est encore à un niveau satisfaisant malgré sa diminution.

Enfin, constatation très encourageante, une jachère de 5 ans suffit pour amener une forte régénération biologique du sol de vieille rizière.

Si nous étudions le complexe organo-minéral nous voyons que le taux d'acide humique et celui de la fraction de densité 2 à 2,4 (Tableau 3) décroissent d'une manière constante et parallèle avec la durée d'utilisation du sol récupéré; la dégradation est donc nette mais il suffit d'une mise en jachère pour stopper cette dégradation. Nous voyons en effet que le taux de fraction densimétrique est à peu près de même importance, mais que le taux d'acide humique se relève considérablement.

Par ailleurs, les taux d'humine que l'on peut considérer comme humus réserve et ceux de la fraction densimétrique inférieure à 2 (matière organique non encore complexée) qui ont un taux très bas dans une vieille rizière, redeviennent très importants dès l'instauration de la jachère.

Nous avons donc par ce moyen simple d'investigation une confirmation des données tant agronomiques que bactériologiques montrant qu'il est assez facile de maintenir un équilibre biologique convenable dans le sol si l'on évite les labours précoces de saisons sèches qui favorisent les combustions rapides du stock organique, un repos périodique permettant de restituer au sol par le moyen de la jachère une quantité importante de matière organique dont la décomposition reconstituera le complexe organo-minéral du sol.

TABLEAU 3

N°	Acide humique ‰	Humine ‰	Fraction densité ‰		
			2	2 à 2,4	
PAL a ...	18,5	15,0	180	360	Marais exondé.
PAL b ...	15,5	14,5	220	280	Rizière jeune.
PAL c ...	7,5	4,5	50	220	Rizière ancienne.
PAL d ...	11,5	48,0	200	280	Jachère sur rizière très ancienne.

## SOLS DE PRAIRIE

Il s'agit de sol de collines sur roches cristallines acides (gneiss) aux environs de Tananarive. Les feux de brousse sévissant fréquemment sur ces sols, l'érosion intense en nappe qui leur fait suite est le principal obstacle à la reconstitution d'un horizon de surface humifère d'activité biologique satisfaisante.

La fréquence des feux, ou parfois, la surpeccoration augmentant, l'érosion s'accélère d'autant plus que la pente est accentuée et le sol se dégrade rapidement.

Nous avons prélevé une série de 4 échantillons composites entre 0 et 5 cm sur les sols suivants, de dégradation croissante :

PR a. — *Aristida multicaulis* Baker et *Hyparrhenia rufa* Stapf (couverture végétale 100 %), pente 1 % vers sommet de colline, horizon humifère brun rouge de 15 cm d'épaisseur. Erosion faible ou nulle.

PR b. — *Andropogon* sp. dominant, avec *Craspedorachis africana* Benth. *Ctenium concinnum* Nees, *Trachypogon plumosus* Nees, *Cyperus obtusiflorus* Vahl, *Schizachyrium semiberbe* Nees, *Cassia mimosoides* L., *Eriosema procumbens* Baker (couverture végétale 90 %), horizon humifère 10 cm. Erosion en nappe entre les touffes de Graminées.

PR c. — *Aristida multicaulis* Baker et *Hyparrhenia rufa* Stapf. épars (couverture végétale 30 %). Pente 30°. Horizon très peu humifère brun rouge de 5 cm d'épaisseur.

Forte érosion en nappe entre les touffes.

PR d. — *Andropogon* sp. avec *Trachypogon plumosus* Nees, *Ctenium concinnum* Nees, *Cyperus obtusiflorus* Vahl., *Vernonia polygalaefolia* Les. (couverture végétale 25 %). Erosion intense généralisée malgré une pente de seulement 8 % (surpâturage ancien probable au voisinage d'un village). Surface rouge compacte.

Les résultats microbiologiques et chimiques suivants ont été obtenus sur ces sols :

TABLEAU 4

	Nx	Na	N-NO <sub>3</sub> im	N-NO <sub>3</sub> 4sem	N-NO <sub>3</sub> min	CO <sub>2</sub>	Ig	Es	Acide humique	C. ‰	N ‰	C/N	pH
PR a ...	40	820	0	9,3	9,3	8,4	81,9	9,3	11,0	26,0	1,56	16,7	4,8
PR b. ...	20	170	0,9	1,4	0,5	6,9	20,7	9,6	5,0	11,4	0,9	12,0	—
PR c. ...	10	410	0,6	7,6	7,0	5,6	16,5	10,5	2,6	14,4	0,8	18	5,0
PR d. ...	20	20	0,3	0,9	0,6	3,6	0	6,7	0,7	6,0	0,6	10	—

La baisse d'activité biologique du sol est presque continue entre PR a et PR d et accompagne la disparition, par érosion surtout, de l'horizon humifère.

On peut noter, que, même pour le premier sol de bonne activité biologique globale (Indice glucose, respiration et pouvoir enzymatique saccharase assez élevés), les germes nitrificateurs sont peu abondants. Cette constatation est générale sur les sols de prairies des Hauts-Plateaux, corrélativement, l'azote minéralisable reste à un niveau bas.

La chute de pouvoir enzymatique saccharase entre PR a et PR d est faible par rapport à celle du dégagement de gaz carbonique et surtout à celle de l'indice glucose.

Ceci tient vraisemblablement aux Lichens abondants sur les sols latéritiques érodés et qui contiendraient l'enzyme saccharase, faussant aussi les résultats de cet indice biologique.

Les résultats chimiques confirment les données microbiologiques : abaissement continue des stocks de carbone et d'azote (sauf faible remontée pour le carbone de PR c). Seul le pH varie peu.

Cette dégradation actuelle de la majeure partie des prairies par intervention humaine : en l'occurrence feux de brousse de saison sèche, qui privent le sol de l'écran végétal et le livrent à l'érosion, est extrêmement grave.

Le mal empire maintenant de lui-même sans que le surpâturage soit en cause. Des prairies gravement érodées comme PR d ne peuvent plus se régénérer même par proscription des feux car l'érosion y creuse des rigoles qui sont l'amorce de « lavaka » (\*).

Nous regardons cependant le feu non comme la cause directe de l'appauvrissement du sol, mais seulement comme l'agent permettant à l'érosion de se déclencher. Nos analyses microbiologiques sur sols brûlés et non brûlés contigus mettent en évidence, tout de suite après le feu en saison sèche, les faibles variations causées.

Au contraire, en fin de saison sèche, les parcelles ayant subi un feu courant ont une activité biologique sensiblement plus élevée (il y a ameublissement du sol par éclatement de la croûte terreuse superficielle et travail intense des insectes fouisseurs en zones brûlées).

(\*) Ravins profonds d'érosion propres à Madagascar (8).

Mais dès les premières fortes pluies, l'activité biologique devient plus élevée en zone non brûlée par suite du décapage de la surface brûlée plutôt que par modification due au feu.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) DOMMERGUES Y. (1952). L'analyse microbiologique des sols tropicaux acides. Mémoires de l'Inst. Scient. de Madagascar, série D, Tome IV, fasc. 2, p. 169-181.
- (2) DROUINEAU G., LEFEVRE G. et Mme BLANC-AICARD (1952). Estimation de la richesse des sols en azote et aspect particulier de ce problème dans la région méditerranéenne. International soil fertility meeting, Dublin, July 1952, Transactions, vol. 1 p. 13-21.
- (3) HOFMANN Von Ed. (1952). Enzymreaktionen und ihre Bedeutung für die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit. Zeit für Pflanzenernährung Düngung Bodenkunde, Berlin, 56 (101) p. 68-72.
- (4) MOUREAUX Cl. (1955). Tests biochimiques de l'activité biologique de quelques sols malgaches. Mém. de l'Inst. Scient. de Madagascar (sous presse).
- (5) PERNET R. (1954). Evolution des sols de Madagascar sous l'influence de la végétation. Mém. de l'Inst. Scient. de Madagascar, série D Tome VI, p. 201-419.
- (6) POCHON J. et YAO-TSENG TCHAN (1948). Précis de Microbiologie du sol. Masson, Paris.
- (7) RIQUIER J. et SEGALEN P. (1949). Notice sur la carte pédologique du Lac Alaotra. Mém. de l'Inst. Scient. de Madagascar, série D, Tome I, fasc. 1, p. 1-31.
- (8) RIQUIER J. (1954). Etude sur les lavaka. Mém. de l'Institut Scient. de Madagascar, série D, Tome VI, p. 169-189.

## ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchung der biologischen Entwicklung :

1. In einem, für den Reisanbau zurückgewonnenen Sumpfboden stellt man bei ununterbrochenem Anbau einen Rückgang der organischen Bodenreserven fest, aber die mikrobiologische Aktivität hält sich auf einem zufriedenstellenden Niveau und das Brachliegen als alte Reiskultur führt zu einer guten Auffrischung.

2. Im Gegensatz dazu ist die Degradierung eines hügeligen Wiesenbodens, der traditionsgemäß abgebrannt wird, kontinuierlich und führt zu einem roten, kompakten Boden, dessen organische Stoffe verbraucht sind und deren biologische Aktivität ausserordentlich schwach oder gleich Null ist. Die Regeneration dieser bis ins Extreme degradierten Wiesenböden kann nur dank einer intensiven Arbeit realisiert werden: Anti-Erosions-Kampf und progressive Rekonstitution des humushaltigen Horizonts.

## SUMMARY

Biological evolution of two soil types of the central crystalline zone of Madagascar is investigated:

1° In marshes reclaimed for rice the amount of organic matter is reduced by continuous cultivation but microbiological activity is maintained at a satisfying level; fallow in old rice fields brings a good regeneration.

2° In prairie soils on hills, on the contrary, usually burnt every year, a continuous deterioration takes place, the result being a compact red soil poor in organic matter with a biological activity dwindling towards nothing. Reclamation of those ruined slope soils can only be obtained by expensive anti-erosion measures and restoration of an organic horizon.

### RESUME

Examen de l'évolution biologique :

1° En sol de marais récupéré pour la riziculture, il y a abaissement des réserves organiques du sol en culture continue, mais l'activité micro-biologique se maintient à un niveau satisfaisant et la jachère en vieille rizière amène une bonne régénération ;

2° En sol de prairies sur colline, au contraire, traditionnellement soumis au feu, la dégradation est continue et aboutit à un sol rouge compact, épuisé en matière organique et à activité biologique extrêmement faible ou nulle. La régénération de ces prairies dégradées à l'extrême ne pourrait être réalisée qu'au prix d'un travail intense : lutte antiérosive et reconstitution progressive de l'horizon humifère.