

MÉMOIRES DE L'INSTITUT SCIENTIFIQUE DE MADAGASCAR
Série D — Tome VI — 1954

LA MICROBIOLOGIE APPLIQUÉE
A L'ÉTUDE DE LA CONSERVATION DES SOLS

par

Y. DOMMERMUES

SOMMAIRE

I. PRINCIPES D'AGROBIOLOGIE	105
A) Techniques d'analyse bactériologique	106
B) Interprétation des résultats des analyses bactériologiques	106
C) Stabilité de l'équilibre biologique des sols	108
II. APPLICATION DES MÉTHODES D'ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE A L'ÉTUDE DE LA CONSERVATION DES SOLS	110
A) Dégradation des sols	110
B) Conservation et régénération des sols	111
III. CONCLUSION	112

I. PRINCIPES D'AGROBIOLOGIE

Le progrès de la Biologie des sols, comme l'a fort bien montré le D^r POCHON, est lié au progrès des techniques d'analyse microbiologique et si, jusqu'à présent, cette science ne s'est pas développée autant que l'on pouvait l'espérer, c'est que l'agrobiologiste a utilisé et utilise encore trop souvent des techniques inadéquates et en particulier des milieux dont la composition n'a aucun rapport avec celle du sol.

En appliquant à l'étude des sols de la Grande Ile, les méthodes écologiques préconisées par WINOGRADSKY et POCHON, nous avons pu constater qu'elles étaient susceptibles de rendre d'incalculables services dans l'étude de la dégradation et de la conservation des sols tropicaux.

Après avoir exposé rapidement les principes de l'interprétation des résultats des analyses biologiques, nous énumérerons les processus d'évolution biologique des sols que nous avons été amenés à étudier. Puis nous dégagerons des résultats de nos observations quelques principes d'agronomie générale.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Références

23 713. 1966

n° 11085

A. TECHNIQUES D'ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE

Il ne nous semble pas nécessaire de rappeler ici les techniques d'analyse bactériologique des sols acides que nous avons mises au point dans les laboratoires de l'IRSM et que nous avons exposées en détail ici même il y a deux ans (2) ; ces techniques nous ont toujours donné satisfaction, lorsqu'elles ont été utilisées correctement.

Ajoutons simplement que l'étude des sols tropicaux neutres ou basiques, par exemple celle des sables roux du Sud et Sud-Ouest ou des sols calcaires ou décalcariés de l'Ouest, ne soulève aucune difficulté spéciale, puisque la plupart des techniques de WINOGRADSKY (14) perfectionnées par POCHON et TCHAN (12), leur sont applicables pratiquement sans modification.

La mesure de l'activité biologique des sols telle que nous la pratiquons porte :

- sur le pouvoir fixateur d'azote en aérobiose exprimé par la densité des Bactéries fixatrices d'azote en aérobiose dénombrées sur plaques de silicogel à pH 6 s'il s'agit de sols acides ou à pH 7 s'il s'agit de sols neutres ou basiques ;
- sur le pouvoir fixateur d'azote en anaérobiose exprimé par la densité des Bactéries fixatrices d'azote en anaérobiose dénombrées sur plaques de silicogel à pH 6 s'il s'agit de sols acides ou à pH 7 s'il s'agit de sols neutres ou basiques ;
- sur le pouvoir ammonifiant exprimé en mg d' NH_3 dégagé par g de sol enrichi en urée mis à l'incubation à l'étuve à 27°C ;
- sur le pouvoir nitrificateur exprimé par la densité des Bactéries nitreuses dénombrées sur plaques de silico-gel à pH 7 quelque soit le pH des sols ;
- sur le pouvoir cellulolytique en aérobiose exprimé par la densité des Bactéries cellulolytiques dénombrées sur plaques de silico-gel à pH 6 s'il s'agit de sols acides ou à pH 7 s'il s'agit de sols neutres ou basiques.

B. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DES ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES

Si l'on peut actuellement affirmer que les techniques de numération des Bactéries sur silico-gel et la technique de mesure du pouvoir ammonifiant sont au point aussi bien pour les sols acides que pour les sols neutres ou basiques, il n'en est pas de même en ce qui concerne l'interprétation des résultats des analyses.

Nous n'avons jusqu'à présent pu dégager de règles sûres que dans le cas des sols acides, à l'étude desquels nous sommes surtout consacrés.

L'interprétation des analyses bactériologiques se heurte d'abord à deux difficultés. La première est due à la variation saisonnière de l'activité biologique du sol dont nous avons entrepris l'étude ici même (11). Il est donc indispensable, pour effectuer des interprétations correctes, de disposer dans tous les cas de témoins.

Plus délicate est la difficulté qui résulte des différences entre les 2 groupes de sols : les sols agricoles et les sols forestiers.

En ce qui concerne ces derniers, la fixation de l'azote atmosphérique est caractérisée par une activité intense en anaérobiose ou semi-anaérobiose (*Clostridium*).

L'ammonification est beaucoup plus active dans les sols forestiers que dans les sols agricoles ; le pouvoir ammonifiant y atteint en effet facilement le chiffre de 2.

Par contre la nitrification des sols forestiers est extrêmement faible puisqu'ils renferment au maximum 10 à 100 Bactéries nitreuses au gramme.

En forêt, l'activité cellulolytique est assez variable puisqu'elle est fonction de la composition botanique des peuplements (9) ; elle est souvent sensiblement plus faible que dans les sols agricoles en très bon état.

1° Fixation d'azote.

L'interprétation des numérations de germes fixateurs est extrêmement délicate ; en effet, contrairement à ce qui était admis souvent jusqu'à présent, la mesure du pouvoir fixateur d'azote d'un sol ne peut à elle seule suffire à caractériser sa fertilité (4, 7, 8). Si la plupart des sols fertiles ont un pouvoir fixateur intense, des sols complètement épuisés peuvent également être très riches en Bactéries fixatrices, ce qui du point de vue théorique se justifie facilement.

Toutefois nous avons démontré que la comparaison du pouvoir fixateur de différents sols pouvait être significative, lorsque cette comparaison portait sur des sols ayant des pouvoirs nitrificateurs (sols agricoles) ou ammonifiants (sols forestiers) très voisins (5). La numération des germes fixateurs permet donc, si l'on sait l'interpréter correctement, de préciser le niveau de fertilité d'un sol.

L'étude des germes fixateurs peut encore fournir de précieux renseignements en ce qui concerne le pH et le rH du sol :

a) pH : nous avons vu (2) qu'il était possible de classer les différents germes fixateurs du sol en plusieurs groupes physiologiques (2, 7) :

— germes dont le pH optimum est égal ou supérieur à 7 ; exemple : *Azotobacter chroococcum* ;

— germes dont le pH optimum se situe aux environs de 6 ; exemple : *Azotobacter indicum* ;

— germes dont le pH optimum se situe au-dessous de 6.

L'abondance relative des Bactéries de ces différents groupes physiologiques permet de préciser le pH du sol.

b) rH : le rapport des densités des Bactéries fixatrices d'azote en aérobie et en anaérobiose est fonction du rH du sol.

2° La nitrification.

La mesure du pouvoir nitrificateur permet de déterminer facilement le

niveau de fertilité présent d'un sol agricole ; c'est ainsi que nous avons prouvé qu'il existait une corrélation positive entre le rendement en fourrage et le pouvoir nitrificateur du sol (8).

Il est possible d'affirmer qu'un sol est fertile s'il contient, suivant la saison, de 1000 à 5000 Bactéries nitreuses au gramme. Par contre, un sol qui présente une activité nitrifiante réduite doit être considéré comme immédiatement impropre à toute culture agricole ; si son pouvoir ammonifiant est élevé, il s'agit d'un sol à vocation forestière.

3° Ammonification.

Si la mesure du pouvoir nitrificateur offre du point de vue forestier un intérêt minime, la mesure du pouvoir ammonifiant est par contre indispensable non seulement pour le forestier mais aussi pour l'agriculteur. A un pouvoir ammonifiant faible correspond incontestablement un sol dégradé ou épuisé.

4° Cellulolyse.

La numération des Bactéries cellulolytiques aérobies offre un intérêt considérable. Le nombre de ces Bactéries est en effet fonction :

— de la quantité et de la qualité de la couverture du sol : c'est ainsi que les sols dénudés perdent rapidement leur pouvoir cellulolytique et que l'activité cellulolytique des sols forestiers dépend de la composition botanique des peuplements ;

— de la saturation du sol en eau ; les sols gorgés d'eau sont pauvres en germes cellulolytiques aérobies ;

— de la compacité du sol : à un sol compact correspond une cellulolyse très réduite en aérobiose.

Il existe entre la densité des germes cellulolytiques et fixateurs d'azote une corrélation très nette qui a été bien mise en évidence dans les sols de France par POCHON et dont nous avons vérifié l'existence ici (4). Notons toutefois que, d'une part, l'activité cellulolytique semble plus sensible que l'activité fixatrice aux modifications du milieu et que, d'autre part, les variations saisonnières de ces deux fonctions du sol peuvent être sensiblement déphasées (11).

C. STABILITÉ DE L'ÉQUILIBRE BIOLOGIQUE DES SOLS

L'application des techniques bactériologiques à l'étude des processus de dégradation et de régénération des sols se heurte à une difficulté supplémentaire qui résulte de l'existence de types de sol à stabilité biologique très différente. Nous avons précisé ci-même cette notion (9) dont l'importance est considérable.

Rappelons simplement que par sols à équilibre biologique instable nous entendons des sols fragiles, extrêmement sensibles aux facteurs de dégrada-

tion quels qu'ils soient : destruction de la couverture végétale par le feu ou par surexploitation, cultures répétées sans apport d'engrais, mauvaises façons culturales, reboisement effectué dans de mauvaises conditions, etc... Ces sols une fois dégradés peuvent difficilement être régénérés ; toutefois lorsqu'ils ont été bien entretenus, ils réagissent remarquablement aux engrais. Le type parfait en est le sol à évolution podzolique d'Ambila que l'on peut qualifier de « sol support ».

Les sols à équilibre biologique stable sont, par contre, des sols robustes qui ont l'avantage de résister aux facteurs de dégradation mais qui présentent en même temps l'inconvénient de réagir assez difficilement aux apports de fumures. Le type en est l'alluvion de sols latéritiques ou alluvion micacée récente (baiboho).

Nous avons établi ci-dessous pour 10 types de sol des Hauts-Plateaux et de l'Est de Madagascar, une classification basée sur la stabilité biologique ; pour la dénomination des types de sol nous avons adopté la nomenclature proposée par RIQUIER (13).

Classification biologique de 10 types de sols
du Centre et de l'Est de Madagascar

<i>Stabilité biologique</i>	<i>Types de sol</i>	<i>N° du type de sol d'après la classification de RIQUIER</i>	<i>Roche-mère</i>	<i>L'étude biologique de ces sols a été effectuée dans les localités suivantes</i>
Bonne à très bonne	Alluvions de sols latéritiques (alluvions micacées récentes ou baiboho)	14	Alluvions fluviales récentes	Lac Alaotra Ankaizinana
Bonne à très bonne	Néosols colluviaux	10	Colluvions formées à partir de gneiss	Tsimbazaza Analamazaotra
Bonne	Argile latéritique sur basalte	8	Basalte	Manjakatomp Antsirabe
Bonne	Sol de couleur brune, noire ou chocolat sur cendres volcaniques	9	Tuf volcanique	Soavinandriana
Moyenne	Argile latéritique sur amphibole	—	Amphibole	Lac Alaotra
Faible à moyenne	Argile latéritique sur gneiss et granite	7	Gneiss ou granite	Ampamaherana Iboaka Route d'Ambohimanga Analamazaotra Tsimbazaza
Faible à très faible	Alluvions anciennes latéritisées	11	Alluvions fluviales anciennes	Analamazaotra Lac Alaotra Faharetana Ambila
Très faible	Podzol humique sur sable	13	Alluvions fluviales	Ambila Analamazaotra
Très faible à nulle	Sol jaune calcaire à tendance podzolique	21	Dunes récentes	Ambila
Nulle	Podzol sur dunes fixées	20	Dunes anciennes	Ambila

II. APPLICATION DES MÉTHODES D'ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE A L'ÉTUDE DE LA CONSERVATION DES SOLS

Les techniques bactériologiques s'appliquent aussi bien à l'étude de problèmes agricoles qu'à l'étude de problèmes forestiers. Nous énumérerons rapidement ici les résultats obtenus dans ces deux domaines, en insistant plus particulièrement sur les processus de dégradation ou de régénération des sols.

A. DÉGRADATION DES SOLS

1. *Défrichement de forêt.*

Parmi les causes de dégradation des sols tropicaux, les défrichements de forêt occupent certainement le premier rang ; il ressort de l'étude que nous avons faite (3) dans la forêt de la falaise que l'évolution de l'activité biologique des sols défrichés est la suivante :

1^{re} phase. — Accroissement de fertilité superficielle et provisoire caractérisé par une multiplication explosive de la densité des Bactéries nitreuses ;

2^e phase. — Effondrement de la fertilité du sol marqué par :

— un ralentissement considérable de la reconstitution des réserves azotées du sol due à une diminution très importante de la densité des Bactéries fixatrices d'azote ;

— une diminution considérable dans la partie inférieure du profil de l'activité des microorganismes appartenant aux autres groupes physiologiques, ce qui équivaut à une réduction de la profondeur vivante du sol ;

— la disparition de l'horizon A₀ dont l'importance chimique et physique (anti-érosive) est considérable.

L'évolution régressive est d'autant plus rapide que le sol défriché est plus fragile : c'est ainsi qu'à la suite de la destruction du couvert forestier, les alluvions anciennes de la station forestière d'Ambila ont été pratiquement stérilisées (9) puisque actuellement :

- leur pouvoir fixateur en aérobiose est nul ;
- leur pouvoir fixateur d'azote en anaérobiose est faible (100 à 400 Bactéries au gramme) ;
- leur pouvoir ammonifiant est faible (environ 1) ;
- leur pouvoir nitrificateur est nul ;
- leur pouvoir cellulolytique est très faible (20 à 100 Bactéries au gramme).

2. *Feu de prairie.*

Le feu de prairie, allumé par les indigènes pour le « renouvellement des pâturages » a sur l'activité biologique du sol un effet moins marqué et plus superficiel que celui du défrichement de forêt. Toutefois nous avons pu mettre en évidence à la suite du feu une baisse sensible de l'activité cellulolytique dans la plupart des parcelles étudiées (10).

3. *Surexploitation.*

La surexploitation des forêts installées sur sols très fragiles peut apporter à l'activité biologique du sol des perturbations extrêmement graves, amenant la substitution de formations végétales secondaires très dégradées aux formations primaires denses. C'est ainsi qu'à Ambila nous avons observé dans le sol des parcelles surexploitées une densité de germes fixateurs d'azote 10 fois plus faible que sous forêt et une densité de germes cellulolytiques 33 fois plus faible que sous témoin (9).

4. *Clean-weeding et labours effectués à une époque défavorable.*

De mauvaises pratiques culturales peuvent conduire à une dégradation marquée par une baisse du pouvoir fixateur, ammonifiant et nitrificateur qui peut être catastrophique dans les sols à équilibre biologique instable (alluvions anciennes de Farahetana) où l'évolution est très rapide et pratiquement irréversible (4).

B. CONSERVATION ET RÉGÉNÉRATION DES SOLS

Il est cependant possible à l'agriculteur de conserver au sol qu'il cultive une activité biologique élevée ou même de l'accroître. C'est ce que nous ont prouvé différentes expériences relatives au paillis, aux cultures dérobées, aux applications d'engrais, effectuées d'ailleurs sur des sols qui étaient à l'origine en parfait état (sols du Lac Alaotra).

1. *Paillis ou Mulching.*

L'application du paillis ou mulching accroît considérablement l'activité biologique du sol; elle équivaut à un apport d'azote, puisqu'elle augmente considérablement non seulement le pouvoir cellulolytique mais aussi le pouvoir fixateur du sol (4).

2. *Cultures dérobées.*

Nous avons pu observer que l'installation de cultures dérobées après la moisson du riz permet au sol de conserver une activité fixatrice d'azote 4 fois plus importante et un pouvoir nitrificateur 2 fois plus élevé que dans les parcelles maintenues en jachère nue (4).

3. Application d'engrais.

L'analyse bactériologique se révèle également comme une méthode de choix pour suivre l'évolution de l'activité du sol à la suite des applications d'engrais (6).

4. Reboisement.

Le reboisement peut améliorer considérablement l'activité biologique du sol. Cette amélioration est d'autant plus nette qu'il s'agit de sols plus instables, à condition toutefois qu'ils ne soient pas trop dégradés au départ ; elle est aussi d'autant plus marquée qu'on utilise des techniques de reboisement plus perfectionnées (5).

5. Pré-bois.

Une couverture forestière encore dense permet de conserver dans les sols de pré-bois un niveau d'activité biologique élevé voisin de celui qui caractérise les formations forestières fermées (9).

III. CONCLUSION

L'échec de la mise en valeur des sols tropicaux provient en général de ce que l'agriculteur n'a pas voulu ou n'a pas su respecter les deux principes d'agronomie essentiels qui sont à la base de la conservation de l'activité biologique des sols : restitution au sol des éléments exportés, maintien d'une couverture permanente sur le sol.

La restitution au sol des éléments exportés est d'autant plus nécessaire que les sols mis en culture sont plus fragiles et plus instables.

La nécessité du maintien ou de l'installation de la couverture permanente sur le sol est encore plus impérieuse, d'où l'intérêt des pratiques suivantes :

- cultures dérobées et engrais verts ;
- semis immédiatement après labour ;
- paillis (ou bien une variante économique du paillis qui consiste à faucher l'herbe et à la laisser sur place) ;
- maintien de la végétation ligneuse partout où cela est possible (par exemple : pré-bois) ;
- installation de végétation permanente : reboisement.

Il convient par contre d'éviter la mise à nu prolongée des sols fragiles et instables et, en conséquence, de condamner sévèrement dans ces types de sols :

- le clean-weeding et le dry-farming ;
- la jachère nue ;
- le défrichement de forêt suivi de culture ;
- les feux de prairie pour le « renouvellement des pâturages ».

La notion de stabilité d'équilibre biologique des sols (9) constitue une des

bases de la notion de « vocation des terres », au sens strictement technique de ce mot (la vocation des terres est en effet fonction de facteurs étrangers à la technique agricole : facteurs politiques, démographiques et surtout économiques).

Dans un pays neuf, où l'agriculture est encore primitive, il convient de réserver à l'exploitation agricole les terres à équilibre biologique stable, dont la mise en valeur, même réalisée avec imprudence, ne peut entraîner la ruine du sol. La mise en valeur de sols plus fragiles ne peut se concevoir que si elle s'effectue en conformité avec les principes agronomiques fondamentaux de maintien de la couverture du sol et de la restitution des éléments exportés.

Il est indispensable, en tous cas, de réserver aux forêts les terres à équilibre biologique instable : la forêt constitue en effet le mode de protection idéal de ces sols, à condition toutefois de respecter, lorsqu'il s'agit de peuplements artificiels, certaines règles relatives au mélange ou à l'alternance des essences (9).

BIBLIOGRAPHIE

1. COPPIER (O.) et POCHON (J.), 1951. — Sur les rapports entre la microflore et la fertilité du sol. — *Ann. Agro*, A, 4, p. 425-8.
2. DOMMERGUES (Y.), 1952. — L'analyse microbiologique des sols tropicaux acides. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, IV, p. 169-176.
3. — 1952. — Influence du défrichement de forêt suivi d'incendie sur l'activité biologique du sol. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, IV, p. 273-295.
4. — 1953. — Rôle de la couverture du sol dans le maintien et l'accroissement de son activité biologique. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, V, p. 299-314.
5. — 1953. — Influence de la fumure des plants d'Eucalyptus robusta sur la croissance de cette essence et sur l'activité biologique du sol ; interprétation de l'analyse bactériologique des sols. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, V, p. 315-26.
6. — 1953. — Influence de différents types de fumure sur l'activité bactériologique du sol. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, V, p. 337-52.
7. — 1953. — Note précisant la biologie de l'*Azotobacter indicum* ainsi que sa répartition à Madagascar. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, V, p. 327-36.
8. — 1953. — Nitrification et fertilité. — *Nat. Malg.*, V, 1, p. 1-4.
9. — 1954. — Modifications de l'équilibre biologique des sols forestiers. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, VI, p. 115-148.
10. — 1954. — Action du feu sur la microflore des sols de prairie. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, VI, p. 149-158.
11. — 1954. — Variations saisonnières de l'activité biologique de deux types de sols du parc de Tsimbazaza-Tananarive. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, VI, p. 159-168.
12. POCHON (J.) et TCHAN (Y. T.), 1948. — Précis de la Microbiologie du sol. — Masson, Paris.
13. RIQUIER (J.), 1951. — Essai de classification des sols latéritiques de Madagascar selon la topographie. — *Mém. Inst. sci. Madag.*, D, III, 1, p. 88-99.
14. WINOGRADSKY (S.), 1949. — Microbiologie du sol. — Masson, Paris.