

APERÇU SUR L'APPLICATION DES MÉTHODES BIOLOGIQUES A L'ÉTUDE DES SOLS AFRICAINS

par Y. DOMMERGUES

*Inspecteur des Eaux et Forêts
de la F. O. M.*

RÉSUMÉ

Les recherches relatives à l'aspect bactériologique des sols tropicaux devront se développer de plus en plus dans un très proche avenir si l'on veut atteindre des résultats cohérents.

Après un exposé rapide des méthodes qu'il a mises au point à Madagascar, l'auteur indique les premières recherches qu'il a entreprises et en tire des conclusions aussi intéressantes pour la foresterie que pour l'agriculture tropicale.

SUMMARY

OUTLINE OF THE APPLICATION OF BIOLOGICAL METHODS TO AFRICAN SOILS INVESTIGATIONS

Investigations concerning the bacteriological aspect of tropical soils should take a much greater development in a near future if consistent results are to be achieved.

Having explained in brief the methods he has developed, the Author points out the first investigations undertaken by him and concludes that these are just as important to forestry as they may be to tropical agriculture.

RESUMEN

COMPENDIO RELATIVO A LA APLICACION DE METODOS BIOLÓGICOS AL ESTUDIO DE LOS SUELOS AFRICANOS

Las investigaciones relativas al aspecto bacteriológico de los suelos tropicales tendrán que desarrollarse con un ritmo, cada vez más rápido, dentro de un porvenir muy próximo para lograr a resultados coherentes.

Después de haber expuesto en breves sus propios métodos, el Autor indica las primeras investigaciones llevadas a cabo por él mismo y concluye que están tienen el mismo interés para la silvicultura que para la agricultura tropical.

I. -- PRINCIPE DES MÉTHODES D'ANALYSE BIOLOGIQUE DES SOLS

Dans le sol les microorganismes qui y pullulent « forment en réalité un certain nombre de groupes physiologiques à activités bien définies, en perpétuelles réactions les uns avec les autres » (1).

Leur étude constitue une des branches les plus importantes de la microbiologie.

(1) Professeur R. COMBES, Préface du précis de microbiologie du sol de Pochon et Tchan.

Les techniques modernes de mesure de l'activité des groupements physiologiques de microorganismes peuvent être classées en deux groupes :

- les techniques de numération ;
- les techniques biochimiques.

1. Techniques de numération

Ces techniques consistent à compter le nombre de colonies de germes apparaissant au bout d'un certain temps sur des milieux de composition bien définie ensemencés avec un poids donné de terre finement pulvérisée ou un volume donné d'une dilution de terre.

Les milieux que l'on ensemence sont dits milieux électifs, car leur composition est telle qu'elle ne permet que le développement de germes appartenant à un groupement physiologique précis.

C'est ainsi que pour déterminer la densité d'un sol en bactéries fixatrices d'azote atmosphérique on utilise des milieux solides électifs non azotés, sur lesquels seuls les germes fixateurs d'azote peuvent proliférer. Si ces milieux sont placés dans une atmosphère normale, on obtient pratiquement uniquement des bactéries fixatrices d'azote en aérobiose ; s'ils sont placés en atmosphère privée

d'oxygène on obtient en pratique uniquement des bactéries fixatrices d'azote en anaérobiose.

Les bactéries nitreuses — bactéries responsables de la transformation en acide nitreux de l'ammoniaque provenant des phénomènes d'ammonification — peuvent être dénombrées sur des milieux électifs solides imprégnés d'une solution à base de sulfate d'ammoniaque.

Quant aux germes cellulolytiques, — bactéries et champignons responsables de la dégradation de la cellulose en produits divers susceptibles de servir d'aliments énergétiques aux autres microorganismes, — leur mise en évidence est réalisée sur milieux solides électifs à la cellulose.

2. Techniques biochimiques

Les méthodes de numération ne sont pas toujours applicables ; aussi est-il nécessaire de recourir, dans certains cas, aux méthodes biochimiques. C'est ainsi que, la numération des bactéries ammonifiantes — bactéries responsables de la transformation en ammoniaque de l'azote protéidique provenant des cadavres végétaux et animaux — soulevant de grandes difficultés, on a dû s'adresser aux techniques biochimiques pour mesurer le pouvoir ammonifiant du sol. La méthode que nous avons utilisée jusqu'à présent consiste à doser la quantité d'ammoniaque produite par un échantillon de sol d'un poids donné enrichi en une substance azotée (urée par exemple).

Ces techniques biochimiques basées sur le dosage des produits de transformation élaborés par des échantillons de sol donnent des résultats remarquables non seulement pour l'étude de l'ammonification mais aussi pour l'étude d'autres processus biologiques tels que la nitrification.

D'autres techniques basées sur la mesure des vitesses de démarrage de réactions dans le sol ou dans les milieux liquides ont été également proposées et sont susceptibles de fournir de précieux renseignements sur la biologie des sols.

II. — INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DES ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES

L'interprétation des résultats des analyses bactériologiques est extrêmement délicate ; elle est compliquée en particulier par l'existence de variations saisonnières importantes. Nous avons pu cependant dégager, pour les sols acides des Hauts Plateaux et de l'Est de Madagascar, les règles suivantes :

Peuplement artificiel de Gluta turtur d'une quinzaine d'années sur dune côtière à évolution podzolique. Station forestière d'Ambila.

Photo Demmergues.





Photo Dommergues.

Peuplement artificiel d'Eucalyptus sp. sur argile latéritique sur gneiss. Station forestière d'Analamazaotra.

1° Fixation de l'azote atmosphérique

Les numérations de germes fixateurs d'azote sont certainement, de toutes les numérations, les plus difficiles à interpréter ; en effet, contrairement à ce qui était en général admis jusqu'à présent, la mesure du pouvoir fixateur d'azote d'un sol ne peut, à elle seule, suffire à caractériser sa fertilité. Si la plupart des sols fertiles ont un pouvoir fixateur intense, des sols complètement épuisés peuvent également être très riches en bactéries fixatrices.

Toutefois nous avons démontré récemment 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.

L'étude des germes fixateurs peut donc permettre de préciser dans une certaine mesure, le niveau de fertilité d'un sol.

Elle peut encore fournir de précieux renseignements en ce qui concerne le pH et le rH du sol.

L'abondance relative des Bactéries ayant un pH optimum de 7 et des Bactéries ayant un pH optimum de 5,5-6 permet en effet de préciser le pH biologique du sol. D'autre part le rapport des densités des bactéries fixatrices d'azote en aérobie et en anaérobie est fonction du rH biologique du sol.

2° La nitrification

La mesure du pouvoir nitrificateur permet de déterminer facilement le niveau actuel de fertilité d'un sol. C'est ainsi que, dernièrement, nous avons prouvé qu'il existait, dans des colluvions micacées, une corrélation positive entre le rendement en fourrage et le pouvoir nitrificateur du sol.

3° Ammonification

Si la mesure du pouvoir nitrificateur offre en général, du point de vue forestier, un intérêt minime, en raison du faible pouvoir nitrificateur des sols forestiers, la mesure du pouvoir ammonifiant est par contre indispensable non seulement pour le



Photo Dommergues.

Peuplement artificiel de *Cupressus lusitanica* d'une trentaine d'années sur argile latéritique sur basalte. Station forestière de Manjakatempo.

forestier mais aussi pour l'agriculteur. A un pouvoir ammoniflant faible correspond incontestablement un sol dégradé ou épuisé.

La numération des germes cellulolytiques (bactéries et champignons) offre un intérêt considérable. Le nombre de ces germes est en effet fonction de la quantité et de la qualité de la couverture du sol.

De gauche à droite :

Photo n° 1 : Kenya-Aberdars.

Détail du système racinaire de *Pinus insignis*.

Photo Guillard. Coll. C. T. F. T.

Photo n° 2 : Kenya-Aberdars.

Autre aspect du système racinaire de *Pinus insignis*.

Photo Guillard. Coll. C. T. F. T.

Photo n° 3 : Peuplement artificiel de *Pinus khasya* d'une quinzaine d'années sur argile latéritique sur gneiss. Station forestière d'Analamazaotra.

Photo Dommergues.

C'est ainsi que les sols dénudés ou érodés perdent rapidement leur pouvoir cellulolytique et que l'activité cellulolytique des sols forestiers dépend de la composition botanique des peuplements ; la densité des germes cellulolytiques aérobies dépend aussi du rH des sols : des sols gorgés d'eau (rizières par exemple) ou mal aérés en sont très pauvres.

En résumé il semble que :

— la fertilité actuelle du sol soit fonction dans une grande mesure de son pouvoir ammoniflant et nitrificateur ;

— la fertilité potentielle du sol soit dans une grande mesure fonction de son pouvoir cellulolytique et fixateur.

Photo n° 1.



III. — EXEMPLES D'APPLICATION DES MÉTHODES D'ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE A L'ÉTUDE DE PROBLÈMES FORESTIERS

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 en ce qui concerne ces derniers en insistant plus particulièrement sur les processus de 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 en avons faite dans la forêt de la falaise malgache que l'évolution de l'activité biologique des sols défrichés est la suivante :

1^{re} phase : accroissement de fertilité superficiel 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, il y a une cinquantaine d'années, les alluvions anciennes de la station forestière d'Ambila ont été pratiquement stérilisées puisqu'actuellement :

— leur pouvoir fixateur d'azote en aérobie est nul ;

— leur pouvoir fixateur d'azote en anaérobiose est faible (100 à 400 bactéries au gramme) ;

— leur pouvoir ammonifiant est faible ;

— leur pouvoir nitrificateur est nul ;

— leur pouvoir cellulolytique en aérobie est très faible (20 à 100 bactéries au gramme).

Photo n° 2.



Photo n° 3.



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 beaucoup moins marqué que le défrichement de forêt. Toutefois nous avons pu déceler, à la suite du feu, une baisse sensible de l'activité cellulolytique dans certains des sols assez fragiles (il s'agissait d'argiles latéritiques sur gneiss).

Mais cette diminution de l'activité cellulolytique n'intéresse que la partie superficielle du sol; d'autre part elle n'apparaît pas immédiatement après l'incendie ce qui tend à prouver que le feu n'exerce pas une action directe sur la microflore du sol (il n'y a pas flambage des microorganismes), mais une action indirecte, conséquence de la disparition de la couverture herbacée du sol. Il y a lieu, en outre, de noter que l'importance des modifications apportées par le feu à l'activité cellulolytique du sol de prairie est fonction de la puissance de la végétation herbacée. Il semble enfin que certains types de sols soient plus sensibles que d'autres à l'action du feu.

3. Surexploitation

La surexploitation des forêts installées sur sols très fragiles peut apporter à l'activité biologique de ces sols des perturbations extrêmement graves, amenant la substitution de formations forestières secondaires très dégradées aux formations primaires initiales. C'est ainsi que sur la dune ancienne à Ambila nous avons observé dans le sol de parcelles surexploitées recouvertes actuellement d'une brousse à *Philippia*, une densité de germes fixateurs d'azote 10 fois plus faible et une densité de germes cellulolytiques 33 fois plus faible que sous forêt.

Notons enfin que de mauvaises pratiques agricoles peuvent conduire à des phénomènes de dégradation aussi graves se traduisant par une baisse du pouvoir cellulolytique fixateur d'azote, ammonifiant et nitrificateur qui peut être catastrophique dans les sols à équilibre biologique instable où l'évolution est très rapide et pratiquement irréversible.

4. Reboisement

Si l'analyse microbiologique constitue un outil particulièrement efficace pour l'étude des phénomènes de dégradation des sols, elle peut rendre également de grands services pour la mise au point de techniques de restauration des sols, techniques parmi lesquelles le reboisement occupe une des premières places. Les quelques exemples que nous donnons ci-dessous sont relatifs à l'étude de l'influence du reboisement dans 3 types de sols de stabilité différente et à l'étude de la fumure de plants forestiers en pots.

A. Influence du reboisement sur l'activité biologique de 3 types de sols

1^{er} exemple : Sol à équilibre biologique instable mais encore en assez bon état avant le reboisement.

Il s'agit d'un sol à évolution podzolique de la station d'Analamazaotra (falaise orientale de Madagascar) reboisé vers 1944 en *Eucalyptus grandis* (parcelle B 26).

Par rapport au sol d'une parcelle contiguë non reboisée, le sol de la parcelle reboisée présente les caractéristiques suivantes :

— la densité des germes fixateurs d'azote y est multipliée par 2,61 ;

— la densité des germes cellulolytiques y est multipliée par 1,83 ;

— le pouvoir ammonifiant est accru de 14 %.

2^e exemple : Sol à équilibre biologique instable en très mauvais état avant le reboisement.

Il s'agit d'une alluvion ancienne très érodée de la station d'Ambila (Côte orientale de Madagascar), reboisée en *Eucalyptus robusta* il y a 25 ans environ.

La comparaison entre le sol reboisé et le sol de prairie érodé non reboisé montre que dans la parcelle reboisée :

— la densité des bactéries fixatrices d'azote a été doublée ;

— la densité des bactéries cellulolytiques a été multipliée par 1,42 et 1,37 ;

— le pouvoir ammonifiant a été plus que doublé.

3^e exemple : Sol à équilibre biologique assez stable, en bon état avant le reboisement. Le reboisement de *Pinus pinaster* effectué il y a une quinzaine d'années sur une argile latéritique sur basalte de la station forestière de Manjakatempo (Hauts-Plateaux malgaches) n'a pas modifié sensiblement l'activité biologique du sol.

Ces trois exemples montrent que l'action favorable du reboisement n'est sensible que dans le cas de sols à équilibre biologique instable (deux premiers cas).

B. Influence de la fumure des plants en pots

Nous avons commencé l'étude de la fumure des plants forestiers sur des argiles latéritiques sur gneiss de la station forestière d'Ampamaherana (Hauts-Plateaux malgaches) dans des parcelles d'expériences d'*Eucalyptus robusta* mises en place en 1946 par M. le Conservateur des Eaux et Forêts COUDREAU. Il résulte des observations effectuées en 1951 et 1952 que la fumure des plants en pots accélère la croissance du peuplement et améliore le sol en activant son pouvoir fixateur d'azote atmosphérique. Cet effet semble devoir se prolonger de nombreuses années, et vraisemblablement pendant toute la vie du peuplement.



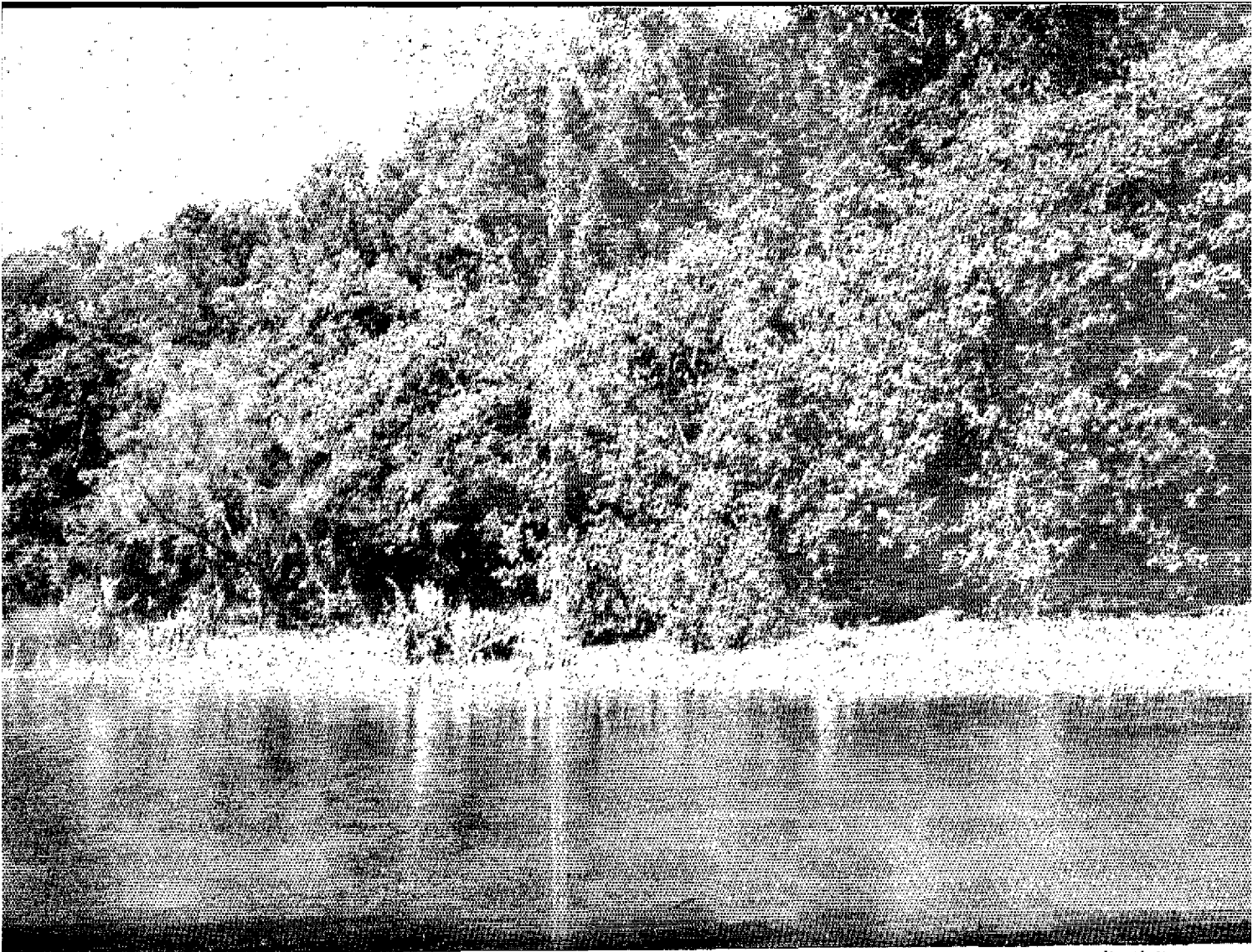


Photo Dommergues

Forêt naturelle côtière et peuplement artificiel d'*Eucalyptus* sp. sur la dune récente à évolution podzolique d'Ambila.

C. Influence de la composition botanique du peuplement forestier sur l'activité biologique du sol

Le problème qui se pose est le suivant : y a-t-il perturbation de l'équilibre biologique des sols à la suite de la modification de la composition botanique des peuplements forestiers ?

Déjà certains auteurs ont mis en évidence l'influence de la composition des peuplements sur la microflore du sol ; mais ces travaux ne portent que sur des sols des régions tempérées. Nous avons donc repris cette étude à Madagascar dans différentes stations forestières du Centre et de l'Est (Manjakatempo, Antsampandrano, Ampamaherana, Analamazaotra et Ambila).

Il résulte des comparaisons effectuées entre les échantillons de sols prélevés dans des parcelles de la forêt native et dans des parcelles contiguës où la forêt native a été convertie en peuplements artificiels d'*Eucalyptus*, Pins, Filaos, *Gluta turtur*, âgés

actuellement de 10 à 20 ans, que les modifications apportées par la conversion à l'activité biologique du sol étaient très marquées dans les sols à équilibre biologique instable ; mais jusqu'à présent nous n'avons pas observé, à la suite de ces conversions, des perturbations aussi importantes que celles qui suivent des opérations aussi brutales que le défrichage suivi de mise en culture.

Les comparaisons effectuées entre différents types de peuplements artificiels (peuplements âgés de 10 à 20 ans de *Cupressus lusitanica*, *Grevillea robusta*, *Acacia mollissima*, *Acacia dealbata*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus robusta*, *Araucaria brasiliensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus patula*, comparés à des peuplements sensiblement du même âge de *Pinus khasya*) nous ont montré qu'à chaque type de peuplement correspond un équilibre particulier de la microflore. Mais l'influence de la composition botanique des peuplements sur l'activité biologique du sol est variable ; elle s'exerce plus ou moins profondément et

la profondeur à laquelle s'exerce cette influence est fonction de l'espèce botanique, du type de sol et vraisemblablement de l'âge du peuplement. Nous avons constaté enfin que certains types de sols ne sont pas ou ne sont que très peu sensibles à la nature du couvert forestier.

Les recherches effectuées sur ce problème ne sont qu'à leur début et il n'est pas encore possible actuellement de tirer des conclusions pratiques précises en ce qui concerne l'influence des différents types de peuplements sur la conservation ou l'amélioration des sols.

CONCLUSION

L'étude de la biologie des sols forestiers dont nous venons de donner un aperçu est à peine ébauchée. Les observations effectuées jusqu'à ce jour sont incomplètes, puisqu'elles ne portent que sur 5 types de sols du Centre et de l'Est de Madagascar ; aussi beaucoup de points restent encore obscurs. Les premières observations nous autorisent cependant à classer dès à présent les sols en deux grands groupes biologiques :

1° les sols fragiles, à équilibre biologique instable — tels que les alluvions anciennes évoluées ou les sols à évolution podzolique — qui sont très sensibles aux différents facteurs de dégradation, sur-exploitation ou défrichement par exemple. La composition botanique des peuplements forestiers exerce sur ces sols une influence marquée.

2° Les sols à équilibre biologique stable, sols à réserves minérales importantes, — tels que les néo-sols colluviaux ou les alluvions récentes mica-cées — qui peuvent supporter sans dommage des traitements relativement brutaux. La disparition de la forêt ou son installation sur ces sols n'entraîne aucune modification importante de leur bio-

logie ; la composition botanique des peuplements forestiers est pratiquement sans influence sur ces sols.

Il existe bien entendu, tous les intermédiaires entre ces deux groupes de sol.

Cette notion présente un intérêt capital puisqu'elle doit permettre de déterminer la meilleure utilisation des sols. Dans l'état actuel de l'évolution de l'agriculture des pays tropicaux il est indispensable de conserver, sur les sols à équilibre biologique instable, leur couverture forestière si elle existe ou de favoriser son installation dans le cas contraire. Tous les sols à équilibre biologique stable — qui sont d'ailleurs rares ou très rares — peuvent être mis en culture sans prendre de précautions spéciales, sauf bien entendu les précautions élémentaires contre les différentes formes de l'érosion.

Quant aux sols intermédiaires, leur mise en culture est possible mais seulement en observant scrupuleusement les deux règles fondamentales de conservation de la fertilité dans les pays tropicaux : restitution régulière des éléments exportés et maintien d'une couverture permanente sur le sol.

