

L'ANALYSE MICROBIOLOGIQUE DES SOLS TROPICAUX ACIDES

par

Y. DOMMERGUES

SOMMAIRE

LES TECHNIQUES D'ANALYSE MICROBIOLOGIQUE :	
1. Technique d'étude de la fixation de l'azote en aérobose . . .	170
2. Technique d'étude de la fixation de l'azote atmosphérique en anaérobose	173
3. Technique d'étude de l'ammonification	173
4. Technique d'étude de la nitrification	175
5. Technique d'étude des Bactéries cellulolytiques	176
APPLICATION A L'ÉTUDE DES SOLS FORESTIERS ET AGRICOLES ACIDES :	
1. Sols forestiers	177
2. Sols agricoles de la région du lac Alaotra	179
CONCLUSIONS	180
BIBLIOGRAPHIE	181

Les sols acides à Madagascar ont une importance considérable ; en effet, les roches cristallines dont ils proviennent le plus souvent occupent une grande partie du territoire de la Grande Ile. Il importait donc de mettre au point l'analyse microbiologique de ces sols.

Nous avons tenté de leur appliquer les techniques de WINOGRADSKY [9] et de POCHON et TCHAN [6]. Mais à la suite de l'échec de ces techniques pour l'étude de certains groupements physiologiques de microorganismes, en particulier pour l'étude des fixateurs d'azote en aérobose, nous avons été amené à les modifier parfois de façon importante.

Il nous paraît préférable de reprendre cette question entièrement en examinant successivement les techniques propres à chacun des principaux groupements physiologiques, puis en donnant, comme application, le résultat de l'analyse de quelques sols forestiers et agricoles, acides.

LES TECHNIQUES D'ANALYSE MICROBIOLOGIQUE

1. Technique d'étude de la fixation de l'azote en aérobie

La biologie des germes fixateurs d'azote¹ des sols acides de Madagascar, sans doute comme celle des autres sols tropicaux acides, diffère d'une façon considérable de celle des germes correspondants vivant dans les sols des régions tempérées.

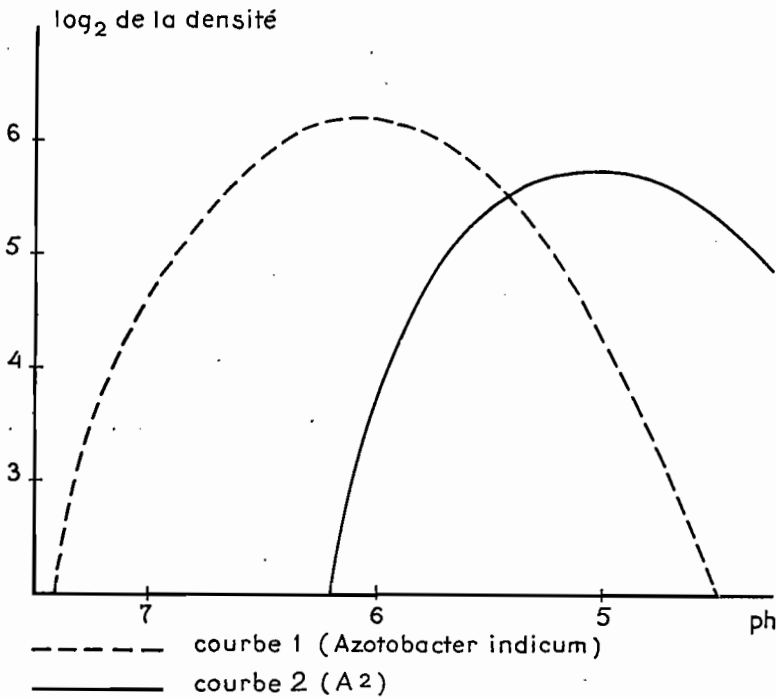


FIG. 1. — Courbes de croissance des germes *Azotobacter indicum* et A 2.

Le pH optimum de ces derniers oscille entre 7,4 et 7,8 et les différents auteurs [3, 6 et 9] sont d'accord pour affirmer que ces germes sont inactifs ou inexistant dans des sols ayant un pH inférieur à 5,8.

Or, les deux germes fixateurs d'azote atmosphérique que nous avons isolés jusqu'à présent des sols acides de Madagascar présentent un maximum d'activité à un pH inférieur à 7. Nous donnons ci-dessus les courbes de croissance de ces deux germes (fig. 1).

La courbe 1 est relative à l'*Azotobacter indicum* [1 et 8] dont la souche étudiée provient de la station forestière d'Analamazoatra-Périnet (Forêt de la Falaise).

La courbe 2 est relative à un autre *Azotobacter* dont la souche étudiée provient de la région du lac Alaotra et que nous appellerons provisoirement A 2 (1).

Ces courbes ont été établies en portant en abscisse le pH des différents milieux liquides glucosés, dépourvus d'azote et tamponnés au phosphate, où les germes ont été cultivés, et en ordonnée le logarithme à base 2 [5] de la densité optique mesurée à l'électro-photomètre MEUNIER de ces cultures au bout d'une incubation de 7 jours à l'étuve à 30°.

Elles montrent que le premier germe présente une croissance maximum à un pH de 6,2, et le deuxième une croissance maximum à un pH de 5.

Nous avons pu vérifier ces faits sur milieu solide, beaucoup plus proche des conditions naturelles, en ensemençant avec des grains de terre acide des plaques de silicogel glucosées dépourvues d'azote et ayant des pH différents :

a) Sur les plaques ayant un pH supérieur à 7 (milieu classique avec émaillage au carbonate de calcium), nous avons observé seulement l'apparition de colonies d'*Azotobacter indicum* et, dans un cas, celui d'un sol de Baiboho provenant du Lac Alaotra, l'apparition de colonies d'*Azotobacter chroococcum*.

b) Sur les plaques ayant un pH de 5,8, nous avons vu apparaître les colonies d'*Azotobacter indicum* au bout de 15 à 20 jours, et celles du germe A 2 au bout de 20 jours.

c) Sur les plaques ayant un pH de 5, ne se développent que les colonies du germe A 2, qui apparaissent au bout d'une vingtaine de jours.

Nous avons enfin pu faire l'observation suivante sur les sols du volcan du Vohitra à Antsirabe :

Sous reboisement en *Pinus Khasya*, le sol a un pH de 4,9 ; la numération sur plaque de silicogel donne :

2 % de grains positifs d'*Azotobacter indicum*.
10 % de grains positifs du germe A 2.

Le même sol, non reboisé, a un pH de 5,6. La numération sur plaque de silicogel donne :

12 % de grains positifs d'*Azotobacter indicum*.
0,5 % de grains positifs du germe A 2.

Le reboisement en *Pinus Khasya* a donc acidifié le sol dont le pH est passé de 5,6 à 4,9 et la proportion de l'*Azotobacter indicum* par rapport au germe A 2 a été inversée.

Nous venons de démontrer de façon irréfutable que ces deux germes fixateurs d'azote — qui sont très répandus dans les sols acides de la Grande Ile — présentent une croissance optimum à un pH voisin de 6,2 (*A. indicum*) et à un pH voisin de 5 (germe A 2).

(1) Une étude comparative détaillée de ces deux germes paraîtra prochainement.

Il pourrait sembler nécessaire de faire les ensemencements de sols acides en vue de la numération des germes fixateurs d'azote à la fois sur des plaques au pH de 6,2 et sur des plaques ayant un pH de 5. Il n'en est rien ; les deux germes se développent d'une façon satisfaisante sur des plaques ayant un pH intermédiaire, le pH 5,8. Nous avons vu plus haut que dans ces conditions les colonies apparaissent au bout de 15 jours à trois semaines ; or, c'est également après une période d'incubation du même ordre de grandeur que les colonies apparaissent sur les plaques de terre moulée enrichie avec une même matière énergétique (glucose), ce qui prouve bien que les germes trouvent sur les plaques de silicogel à pH 5,8 des conditions de croissance très acceptables et comparables à celles offertes par la méthode de la terre moulée glucosée, méthode à laquelle il est toujours indispensable de se rapporter.

La technique de préparation des plaques de silicogel que nous avons mise au point pour la numération des germes fixateurs d'azote atmosphérique diffère donc très sensiblement de la technique de WINOGRADSKY.

Les plaques de silicogel sont imprégnées avec la solution saline suivante, tamponnée au phosphate au pH 5,8, qui nous a donné entière satisfaction.

Phosphate monopotassique	10 g.
Phosphate disodique	2,5 g.
Sulfate de magnésium	2,5 g.
Chlorure de sodium	1 g.
Chlorure de calcium	0,5 g.
Sulfate ferrique	0,2 g.
Sulfate de manganèse	0,05 g.
Eau distillée	1.000 cm ³

Nous avons maintenu dans cette formule le chlorure de sodium qui apporte au milieu des oligo-éléments.

Pour préparer les plaques, il suffit de faire dissoudre dans 40 cm³ de la solution saline 10 g. de glucose et d'ajouter 10 g. de kaolin lavé, puis de verser 2,5 cm³ de cette pâte liquide sur les boîtes de silicogel de 10 cm. de diamètre qui viennent d'être ébouillantées. On réalise ainsi en même temps l'imprégnation avec la solution saline, l'imprégnation avec la matière énergétique et l'émaillage, ce qui simplifie considérablement le travail. On sèche ensuite les boîtes de PERRI à l'étuve et on les stérilise avec une lampe à rayons ultra-violet.

Pour les analyses en série, nous avons adopté, comme d'ailleurs nous l'avons fait pour la numération des autres germes, la technique du saupoudrage, beaucoup plus rapide et plus souple que celle des grains de terre. Nous utilisons pour faire cet ensemencement de petits tamis métalliques en laiton de 3 cm. de côté avec mailles de 0,025 cm. environ, dont les bords ont été relevés. Ces micro-tamis sont beaucoup plus pratiques que les creusets de GOOCH, car ils sont très légers, et sont très faciles à stériliser puisqu'il suffit de les flamber avant usage.

Les plaques ensemencées sont mises à l'étuve à 30° C ; on les examine au bout de 21 jours.

2. Technique d'étude de la fixation de l'azote atmosphérique en anaérobiose

Les *Clostridium* fixateurs d'azote atmosphérique présentent une très grande tolérance vis-à-vis du pH, leurs colonies se développent aussi bien sur les plaques à pH 7 que sur les plaques à pH 5,8. Nous avons cependant adopté pour la numération de ces germes l'ensemencement sur plaques de pH 5,8 qui donne entière satisfaction. Ces plaques sont mises à l'incubation 7 jours à 30° C, en atmosphère dépourvue d'oxygène par absorption par pyrogallate de soude, comme dans la méthode classique, mais le vidè partiel préconisé parfois n'est pas indispensable.

La numération des *Clostridium* revêt une grande importance dans l'étude de certains sols forestiers, où la fixation d'azote se fait parfois presque exclusivement par l'intermédiaire de ces microorganismes, ainsi qu'il ressort des résultats de l'analyse des profils ANL 50 et ANL 53 ci-dessous.

3. Technique d'étude de l'ammonification

Pour étudier le pouvoir ammonifiant des sols acides, nous avons dû modifier la technique de POCHON et TCHAN [4 et 6]. En effet, les sols acides, comme d'ailleurs les sols humifères, fixent une grande partie et parfois la totalité de l'ammoniaque formé au cours de l'ammonification, et le dosage de l'ammoniaque dégagé par l'échantillon de sol doit être complété par le dosage de l'ammoniaque fixé par voie physico-chimique. D'autre part, pour les analyses en série, nous avons remplacé le dosage journalier par un seul dosage au bout de 72 heures.

Pour mesurer le pouvoir ammonifiant d'un sol, nous procédons donc de la façon suivante :

Enrichissement de l'échantillon en urée. — Nous ajoutons, à la dose de 3 ‰, de l'urée à un échantillon de 20 g. de sol (poids sec à l'air) que nous humidifions de façon convenable. La quantité d'eau à apporter pour humidifier un sol est supérieure d'environ 25 % à l'humidité équivalente [3] mesurée dans un champ de 1.000 g. ; ainsi pour un sol ayant une humidité équivalente de 40 %, nous ajoutons 50 % d'eau. Dans le cas de l'horizon A₀ des sols forestiers, il est nécessaire d'ajouter à l'échantillon 100 % d'eau pour l'humidifier, et parfois plus.

Cet échantillon est mis dans une boîte de PÉTRI de 10 cm. que l'on porte à l'étuve à 25° C pendant 72 heures suivant le dispositif expérimental utilisé par POCHON et TCHAN [6].

Nous procédons alors aux trois dosages suivants :

a) Dosage de l'ammoniac préexistant dans le sol, soit : a mg. par gramme de sol.

b) Dosage de l'ammoniac dégagé au cours de l'ammonification par

l'échantillon enrichi en urée et fixé par l'acide sulfurique suivant la technique POCHON et TCHAN, soit : b mg. par gramme de sol.

c) Dosage de l'ammoniac retenu par le sol au cours de l'ammonification par voie physico-chimique.

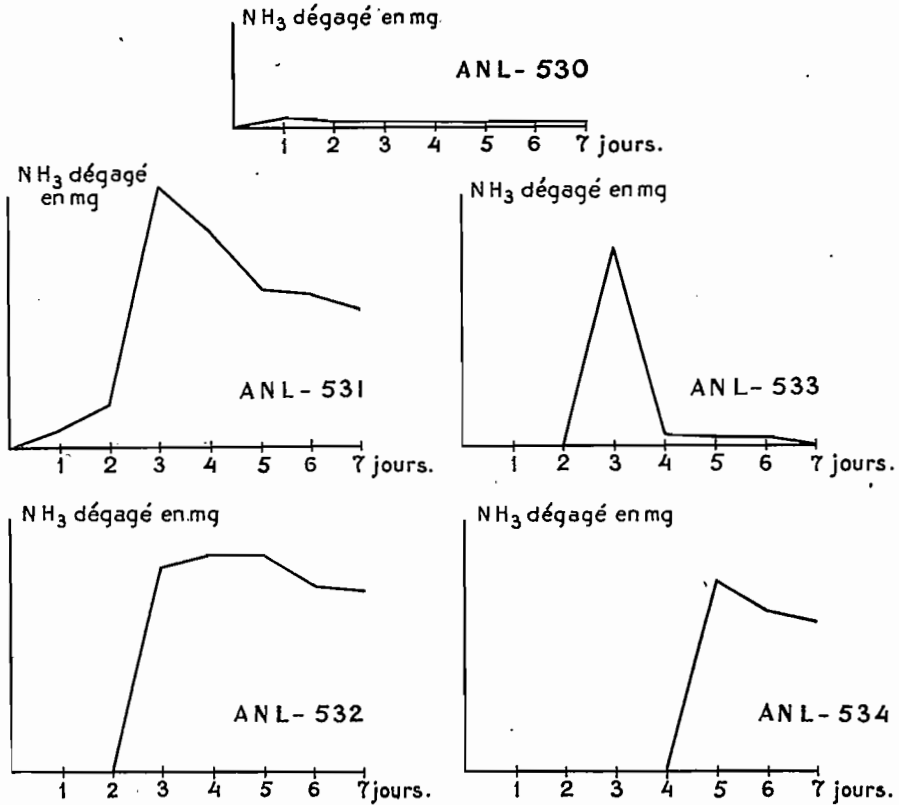


FIG. 2. — Courbes d'ammonification correspondant aux différents horizons du profil forestier ANL 53.

Pour faire ce dernier dosage, on déplace l'ion NH_4^+ avec une solution de chlorure de potassium à 10 % et l'on fait la distillation sur le filtrat suivant la méthode classique exposée dans le traité de Chimie végétale de BRUNEL [2].

On exprime également ce résultat en mg. d'ammoniac par gramme de sol. Soit c mg.

Le pouvoir ammonifiant s'exprime alors par le chiffre $p = b + c - a$.

Nous donnerons, à titre d'exemple, la mesure du pouvoir ammonifiant dans les différents horizons du profil forestier ANL 53, dont il sera question plus longuement ci-dessous ; les prélèvements ont été effectués :

- dans l'horizon Ao (couverture morte) pour l'échantillon 530 ;
- entre 5 et 10 cm. de profondeur pour l'échantillon 531 ;
- entre 15 et 20 cm. » » 532 ;
- entre 25 et 30 cm. » » 533 ;
- entre 45 et 50 cm. » » 534.

On a représenté sur la figure 2 les courbes d'ammonification correspondantes établies à 25° C suivant la technique de POCHON et TCHAN.

Il ressort de ces graphiques que la période de latence du phénomène d'ammonification s'accroît lorsque la profondeur augmente :

- elle est inexistante dans l'horizon ANL 531 ;
- elle est de deux jours dans les horizons ANL 532 et ANL 533 ;
- elle est de quatre jours dans l'horizon ANL 534,

ce qui semble bien indiquer une diminution du pouvoir ammonifiant de l'horizon 531 à l'horizon 534. Mais l'horizon 530 a un pouvoir fixateur vis-à-vis de l'ammoniac tel, qu'il n'est pas possible de se faire, par cette technique, une idée de l'ammonification dans cet horizon.

La technique, que nous avons mise au point, donne pour le même profil les chiffres suivants :

N° de l'échantillon	Profondeur	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>p</i>
ANL 530	Horizon Ao	0,12	0,07	1,35	1,30
ANL 531	5-10 cm.	0,04	0,82	1,50	2,28
ANL 532	15-20 cm.	0,04	0,71	0,89	1,56
ANL 533	25-30 cm.	0,05	0,31	0,87	1,13
ANL 534	45-50 cm.	0,03	0,03	0,41	0,41

Le chiffre *p* exprime à lui seul et d'une façon satisfaisante la valeur du pouvoir ammonifiant quels que soient le pH et la teneur en humus de l'échantillon de sol étudié.

4. Technique d'étude de la nitrification

La technique classique de numération des germes nitrificateurs nous a donné satisfaction dans tous les types de sols acides étudiés, qu'il s'agisse de sols agricoles ou forestiers, ce fait étant dû vraisemblablement à la grande tolérance de ces germes vis-à-vis du pH.

Nous avons essayé de reprendre la technique d'émaillage des plaques au phosphate ammoniaco-magnésien utilisée par ROMMEL et citée par WINOGRADSKY [9], mais elle ne nous a donné que des résultats inférieurs à la technique classique d'émaillage au carbonate de calcium.

Pour les analyses en série, nous n'étudions que la nitritation, le dénombrement des germes de la nitratation demandant trop de temps et n'étant pas indispensable.

5. Technique d'étude des Bactéries cellulolytiques

Les germes cellulolytiques du groupe des *Cytophaga* et des Vibrions, isolés des sols acides de Madagascar, présentent une grande tolérance vis-à-vis du pH et leurs colonies apparaissent aussi bien sur les plaques de silicogel classiques ayant un pH supérieur à 7 que sur les plaques ayant un pH de 5,8.

Il n'en est pas de même pour tous les germes cellulolytiques, en particulier pour certains germes provenant de la couverture morte des sols forestiers. Ces derniers ne se développent que sur des plaques ayant un pH voisin de 5,8.

Nous avons donc adopté, comme pour la numération des *Azotobacter*, les plaques à pH 5,8. Leur préparation est très simple, il suffit d'imprégner chaque plaque de 10 cm. de diamètre avec 2 cm³ de la solution saline à pH 5,8 tamponnée au phosphate dans laquelle on a fait dissoudre 3 % de nitrate de potassium, puis après séchage d'appliquer une feuille de papier-filtre stérilisé.

APPLICATION A L'ÉTUDE DES SOLS FORESTIERS ET AGRICOLES ACIDES

Il nous apparaît indispensable de donner à la suite de cette étude le résultat d'analyses microbiologiques effectuées dans cinq types de sols acides différents :

1. — Argile latéritique sur gneiss, partiellement remaniée ;
2. — Alluvions anciennes grises ;
3. — Argile latéritique rouge sur amphibole ;
4. — Alluvions anciennes jaunes ;
5. — Alluvions récentes latéritiques.

Les tableaux I, II, III, IV ci-dessous résument les caractéristiques biologiques de ces sols. Les chiffres de la colonne (3) indiquent le pouvoir ammonifiant en mg. d'ammoniac produit par gramme de terre dans les conditions expérimentales exposées ci-dessus. Les chiffres des colonnes (1) (2) (4) (5) expriment le nombre de germes ou plus exactement de groupes de germes ou colonies par gramme de terre (poids sec à l'air). Dans la colonne (6) on a indiqué la valeur du pH déterminé à l'aide d'une trousse colorimétrique Prolabo.

Lorsque l'ensemencement a été effectué par la technique des grains de terre, ces résultats sont exprimés sous la forme de pourcentage de grains positifs ; dans ce cas le chiffre est suivi du signe %.

1. Sols forestiers

a) ARGILE LATÉRITIQUE SUR GNEISS

Les prélèvements ont été faits au mois de juillet 1951 à la station forestière d'Analamazoatra-Périnet (district de Moramanga) sur argiles latéritiques sur gneiss partiellement remaniés. Le profil ANL 50 est situé dans la parcelle S1, parcelle défrichée au mois de septembre 1950 et brûlée au mois de novembre 1950 pour y installer un arboretum.

Le profil ANL 53 est situé dans la parcelle voisine sous forêt autochtone (forêt à feuilles persistantes du type oriental) en assez bon état.

TABLEAU I. — ANALYSE DU PROFIL ANL 53

N° de l'échantillon	Profondeur du prélèvement	Pouvoir fixateur d'azote en	Pouvoir fixateur d'azote en anaé-	Pouvoir ammoni-	Pouvoir nitrifi-	Pouvoir celluloly-	pH
		aérobiose	robiose	fiant	icateur	tique	
—	—	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ANL 530	Horizon Ao	10	11 %	1,30	100	33 %	6,1
ANL 531	5-10 cm.	0	2 %	2,28	30	1 %	5,0
ANL 532	15-20 cm.	3	8 %	1,50	30	1 %	5,0
ANL 533	25-30 cm.	0	4 %	1,13	27	1,5 %	5,0
ANL 534	45-50 cm.	0	< 1 %	0,41	21	0,5 %	5,4

Ce profil est caractérisé dans la partie supérieure par :

- un pouvoir fixateur d'azote en aérobiose faible,
- un pouvoir fixateur d'azote en anaérobiose moyen,
- un pouvoir ammonifiant élevé,
- un pouvoir nitrificateur faible,
- un pouvoir cellulolytique élevé, limité à l'horizon Ao (couverture morte).

TABLEAU II. — ANALYSE DU PROFIL ANL 50

N° de l'échantillon	Profondeur du prélèvement	Pouvoir fixateur d'azote en	Pouvoir fixateur d'azote en anaé-	Pouvoir ammoni-	Pouvoir nitrifi-	Pouvoir celluloly-	pH
		aérobiose	robiose	fiant	icateur	tique	
—	—	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ANL 500	0- 2 cm.	0	3 %	1,18	38.400	22 %	7,0
ANL 501	5-10 cm.	72	37 %	1,70	4	2 %	6,1
ANL 502	15-20 cm.	37	39 %	1,50	26	1 %	6,0
ANL 503	25-30 cm.	9	< 1 %	0,83	44	< 1 %	5,6
ANL 504	45-50 cm.	4	< 1 %	0,28	70	< 1 %	5,6

Ce deuxième profil présente des caractéristiques voisines, sauf pour l'horizon supérieur qui a été modifié par suite de l'action du feu : 1° son

pouvoir fixateur d'azote est très faible ou nul ; 2° son pouvoir nitrificateur est exceptionnellement élevé.

Il ressort en outre de ces tableaux que la zone biologiquement active de ces sols ne dépasse pas 20 à 30 cm. d'épaisseur. Il n'y a donc pas lieu de faire de prélèvements au-dessous de cette profondeur. D'autre part les prélèvements que nous avons effectués dernièrement nous ont montré que l'étude de l'horizon 0-5 cm. est extrêmement fructueuse en ce qui concerne les micro-organismes aérobies. La simple observation du profil de ce type de sol nous en donne une autre preuve : en effet les racines constituent dans cet horizon un feutrage très serré.

Il est également indispensable de faire un prélèvement entre 10 et 20 cm., car les germes fixateurs d'azote en anaérobiose présentent en général un maximum de densité à cette profondeur.

b) ALLUVIONS ANCIENNES GRISES

Les prélèvements suivants ont été faits au mois d'août 1951 à la station forestière d'Ampamaherana — district de Fianarantsoa — sur alluvions anciennes grises formées à partir de roches cristallines. Il s'agit des deux profils APM 19 et APM 20. Le premier est situé dans la parcelle A-63 sous un reboisement de *Pinus patula* âgé de huit ans. Le deuxième, distant d'une vingtaine de mètres du premier sur une même courbe de niveau, est situé dans la parcelle A-64 sous un reboisement d'*Acacia mollissima* âgé de huit ans.

TABLEAU III. — ANALYSE DES PROFILS APM 10 (PINUS PATULA)
ET APM 20 (ACACIA MOLLISSIMA)

N° des profils	N° de l'échantillon	Profondeur du prélèvement	Pouvoir fixateur d'azote en aérobiose	Pouvoir fixateur d'azote en anaérobiose	Pouvoir ammo-nifiant	Pouvoir nitrificateur	Pouvoir cellulo-lytique	pH
—	—	—	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
APM 19	APM 190	Horizon Ao	40	220	1,12	5	770	4,6
	APM 191	0-5 cm.	1.670	870	1,25	67	1.730	5,2
APM 20	APM 200	Horizon Ao	115	480	1,13	30	600	5,2
	APM 201	0-5 cm.	1.060	320	1,32	22	830	5,4

Ces échantillons ont un pouvoir fixateur d'azote élevé, sauf le n° APM 190. Comme les sols forestiers étudiés ci-dessus, ces sols sont caractérisés par :

- un bon pouvoir ammonifiant,
- un pouvoir nitrificateur faible.

Nous constatons en outre des différences remarquables entre les caractéristiques biologiques de l'horizon Ao sous *Pinus* et de l'horizon correspondant sous *Acacia* : ce dernier est beaucoup plus actif. Notons également l'action acidifiante du Pin que nous avons signalée à propos du reboisement du Vohitra.

2. Sols agricoles de la région du lac Alaotra

Nous donnerons enfin les résultats de l'analyse de trois types de sols agricoles de la station agricole du lac Alaotra (2). Il s'agit de parcelles cultivées en Manioc sans fumure sur les sols suivants :

- a) argile latéritique rouge sur amphibole : échantillon ALT-R₁,
- b) alluvions anciennes jaunes : échantillon ALT-J₁,
- c) alluvions récentes (Baiboho) : échantillon ALT-B₁.

Ces prélèvements ont été faits de 0 à 5 cm. au mois de juillet 1951 (3).

TABLEAU IV. — ANALYSE DE TROIS TYPES DE SOLS AGRICOLES DU LAC ALAOTRA

N° de l'échantillon	Pouvoir fixateur en aérobiose	Pouvoir fixateur en anaérobiose	Pouvoir ammonifiant	Pouvoir nitrificateur	Pouvoir cellulolytique	pH
—	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ALT-R ₁	278	300	0,99	1.230	4.700	5,8
ALT-J ₁	25	570	0,79	2.030	4.000	6,4
ALT-B ₁	2.600	470	1,19	3.840	2.500	6,2

Ces sols se différencient des sols forestiers par un pouvoir ammonifiant nettement plus faible, à l'exception de l'échantillon ALT-B₁, mais par contre leur pouvoir nitrificateur est élevé. A noter l'activité biologique remarquable de l'échantillon ALT-B₁ (Baiboho) qui explique la grande fertilité de ce type de sol, alors que l'analyse chimique ne la met pas en évidence.

Pour résumer ce paragraphe, nous donnons ci-dessous un tableau indiquant l'ordre de grandeur du pouvoir ammonifiant et de la densité en germes des différents groupements physiologiques correspondant à différents degrés du pouvoir ammonifiant, fixateur d'azote, nitrificateur et cellulolytique.

(2) Nous tenons à remercier ici le Directeur de la Station Agricole du lac Alaotra et M. Roche, chef du Service pédologique de cette station, qui nous ont permis, avec la plus grande obligeance, de faire ces prélèvements dans les parcelles d'expérience.

(3) Une description pédologique détaillée de ces sols a été publiée par RIQUIER et SÉGALEN en 1949 [7].

TABLEAU V

Pouvoir	Ammonifiant	Fixateur d'azote en aérobie	Fixateur d'azote en anaérobie	Nitrificateur	Cellulolytique
—	—	—	—	—	—
	(3)	(1)	(2)	(4)	(5)
Très bon.....	> 1,75	> 2.000	> 2.000	> 2.000	> 2.000
Bon	1,25 à 1,75	500-2.000	500-2.000	500-2.000	500-2.000
Moyen	0,75 à 1,25	100-500	100-500	100-500	100-500
Faible	< 0,75	< 100	< 100	< 100	< 100

Il est intéressant de remarquer que ces chiffres de densité sont du même ordre de grandeur que ceux trouvés par WINOGRADSKY dans les sols de France [9].

CONCLUSIONS

De cette étude nous tirerons des conclusions importantes concernant la technique du prélèvement, la technique de l'analyse microbiologique et enfin une conclusion d'ordre agronomique.

1. — TECHNIQUE DU PRÉLÈVEMENT

Il est indispensable de faire trois prélèvements dans les sols forestiers, l'un dans l'horizon Ao (couverture morte), l'autre dans l'horizon 0-5 cm. et le troisième entre 10 et 20 cm. Les prélèvements au-dessous de 30 cm. de profondeur n'ont pas d'intérêt pour l'étude des germes aérobies stricts.

Dans les sols agricoles un prélèvement effectué dans l'horizon 0-5 cm. semble suffire en général.

2. — TECHNIQUE D'ANALYSE

Le pH des milieux au silico-gel servant à la numération des Bactéries doit se rapprocher autant que possible du pH des sols étudiés. Les milieux ayant un pH de 5,8 nous ont donné de bons résultats pour les sols ayant un pH compris entre 4,5 et 6,5. Mais il est possible que pour l'étude des sols plus acides ou pour l'étude de microorganismes ayant des exigences strictes vis-à-vis du pH, l'on soit amené à utiliser des milieux ayant des pH de 5, 4,5 ou 4.

Cette notion présente un intérêt primordial dans l'étude des sols tropicaux qui sont souvent acides, mais elle peut aussi être très utile dans les régions tempérées pour l'étude des sols acides et notamment celle des sols forestiers.

3. — CONCLUSION D'ORDRE AGRONOMIQUE

L'étude ci-dessus montre que certains groupements physiologiques, en particulier les *Azotobacter* des sols tropicaux acides, présentent une activité maximum à un pH de 5 ou 6,2. La modification du pH de ces sols — par suite d'un chaulage, opération souvent conseillée à tort — peut conduire à une diminution ou même un arrêt du pouvoir fixateur de ces sols. Les chaulages des sols tropicaux acides devront donc être conduits d'une façon très prudente.

BIBLIOGRAPHIE

1. BERGEY (D. H.), 1948. — Manual of determinative bacteriology. — Londres, Baillière, Tindall.
2. BRUNEL (A.), 1948. — Traité pratique de chimie végétale. — Tourcoing, Georges frères.
3. DEMOLON (A.), 1948. — Dynamique du sol. — Paris, Dunod.
4. KAUFFMANN (J.) et CHALVIGNAC (A.), 1950. — Recherches sur les méthodes de mesure du pouvoir ammonificateur d'une terre. — *Ann. Inst. Pasteur*, 79, p. 229-231.
5. MONOD (J.), 1949. — Lois de la croissance bactérienne. — Cours de microbiologie. Paris, Institut Pasteur.
6. POCHON (J.) et TCHAN (Y. T.), 1948. — Précis de microbiologie du sol. — Paris, Masson.
7. RIQUIER (J.) et SÉGALEN (P.), 1949. — Notice sur la carte pédologique du lac Alaotra. — *Mém. Inst. sc. Madag.*, D, I, 1, p. 1-31.
8. STARKEY (R. L.) et DE (P. K.), 1939. — A new species of *Azotobacter*. — *Soil Science*, 47, p. 329-343.
9. WINOGRADSKY (S.), 1949. — Microbiologie du sol. Problèmes et méthodes. — Paris, Masson.

SUMMARY

A microbiological study of samples of soils from the highlands of Madagascar shows that significant results can only be obtained under acid conditions (pH 5,8) ; a short comparison between various types of soils is given.
