

Rôle des microflores symbiotiques et non symbiotiques sur l'altération de la biotite et la croissance du maïs (*Zea Mays*) :

Influence des conditions du milieu

C. LEYVAL et J. BERTHELIN

Centre de Pédologie biologique du C.N.R.S.
B.P. 5, 54501 Vandœuvre-les-Nancy Cedex

SOMMAIRE.

Un dispositif expérimental permet de cultiver le maïs, en maintenant le système racinaire stérile ou en l'inoculant par des microflores symbiotiques et/ou non symbiotiques.

*Ce dispositif de culture a permis de montrer que l'action des microflores endomycorhiziennes (*Glomus mosseae* et *Glomus epigaeus*) et/ou l'action de microflores non symbiotiques (essentiellement bactériennes) sur la mobilisation des éléments minéraux, leur absorption par la plante et la croissance de celle-ci, dépend des conditions du milieu.*

Lorsque les conditions de culture sont bonnes, la croissance de la plante et l'altération d'un mica (biotite) sont peu influencées par les microflores symbiotiques et/ou non symbiotiques.

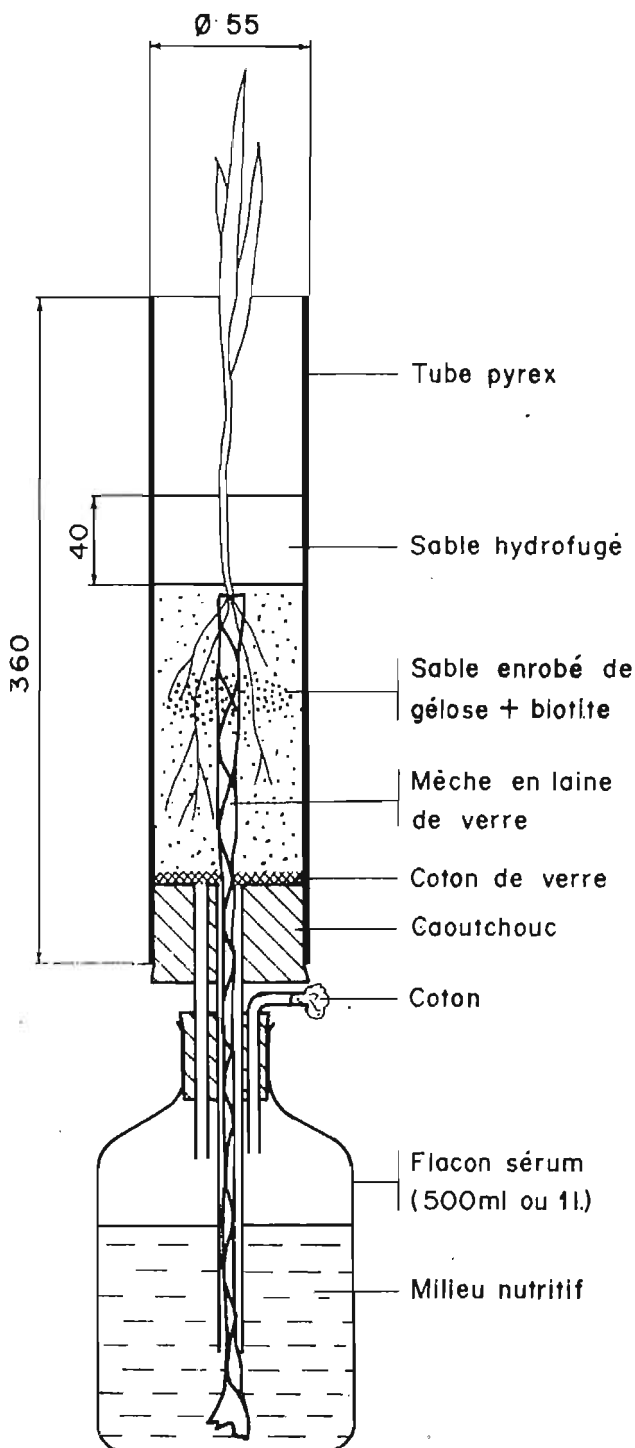
En revanche, lorsque les conditions sont plus défavorables (taux d'humidité insuffisant, carences en potassium), ces microflores peuvent stimuler significativement d'une part la croissance du maïs et d'autre part la solubilisation et l'absorption du potassium.

C'est l'association plante-microflore non symbiotique (essentiellement bactérienne) qui, dans les conditions expérimentales adoptées, mobilise le plus activement le potassium et le fer de la biotite.

Divers mécanismes microbiens, qui restent à préciser, peuvent être impliqués dans ces processus.

INTRODUCTION.

L'altération des minéraux par les systèmes racinaires de végétaux a été observée par divers auteurs (MORTLAND *et al.*, 1956 ; SPYRIDAKIS *et al.*, 1967 ; CONYERS et Mac LEAN, 1968 ; JUANG et UEHARA, 1968 ; BOYLE et VOIGT, 1973). Mais la plupart

FIGURE I. — *Dispositif de culture pour le maïs**Experimental device for maize growth*

de ces travaux ne distinguaient pas le rôle de la microflore rhizosphérique symbiotique et/ou non symbiotique de celui de la plante, excepté quelques rares études, qui se rapportaient surtout aux microflores symbiotiques (ecto ou endomycorhizes) et à la solubilisation de phosphates insolubles (AZCON *et al.*, 1976 ; POWELL et DANIEL, 1978).

Pourtant, des numérations indirectes ont montré que de nombreux micro-organismes de la rhizosphère de diverses plantes peuvent solubiliser des phosphates (SPERBER, 1958 ; SWABY et SPERBER, 1958 ; LOUW et WEBLEY, 1959 ; RAGHU et Mac RAE, 1966 ; EL GIBALY *et al.*, 1977 ; LEYVAL 1981), des silicates (JACKSON et VOIGT, 1971), des carbonates (LEYVAL, 1981).

Récemment, BERTHELIN et LEYVAL (sous presse) ont montré qu'un champignon endomycorhizien (*Glomus mosseae*) et/ou des micro-organismes non symbiotiques de la rhizosphère du maïs peuvent stimuler la croissance de cette plante, mais aussi la solubilisation et l'absorption du potassium d'un mica (biotite) et l'absorption d'éléments présents sous forme soluble (calcium et magnésium). Mais, dans la rhizosphère, l'activité des micro-organismes est directement liée à l'apport d'exsudats racinaires dont la production dépend des conditions de croissance de la plante.

On est donc amené à considérer que l'activité des microflores rhizosphériques symbiotiques et non symbiotiques, qui intervient dans la mobilisation des éléments minéraux, dépendra elle aussi des conditions de croissance de la plante.

C'est pourquoi, dans le but de déterminer l'influence des conditions de croissance d'une plante (maïs) sur la mobilisation du potassium d'un mica, nous avons effectué 4 expériences. A l'aide d'un dispositif expérimental, nous avons distingué le rôle de la plante de celui des microflores symbiotiques (champignons endomycorhiziens : *Glomus*) et/ou non symbiotiques.

MATERIEL ET METHODES.

Le dispositif expérimental, sa mise en place et les différentes méthodes ont été décrites en détail par BERTHELIN et LEYVAL (sous presse), mais l'essentiel en est rappelé ci-dessous.

Des graines de maïs (variété LG 11, de 305 à 315 mg), stérilisées à l'eau oxygénée à 30% pendant 30 minutes, sont mises à germer en tube sur de la gélose nutritive (Nutrient Agar Difco 6‰), dans des conditions stériles. Après 3 à 4 jours, les plantules stériles sont transférées aseptiquement dans des dispositifs de culture (BERTHELIN et LEYVAL, sous presse) (Fig. 1) où le système racinaire est, soit maintenu stérile, soit inoculé par des microflores symbiotiques (champignons endomycorhiziens : *Glomus mosseae* ou *Glomus epigaeus*) et/ou non symbiotiques (microflore complexe d'un sol cultivé avec du maïs). Les plantes sont cultivées sur un support solide inerte, constitué de sable lavé à l'acide, enrobé de gélose (90 ml d'agar noble Difco à 8‰ pour 375 g de sable), en présence d'une solution nutritive (milieu Börner-Rodemachez, décrit par JACQ, 1970), qui est plus ou moins carencé en sels de potassium. Le potassium est apporté en outre sous forme insoluble par de la biotite (1 g/plante), dont l'analyse figure au tableau 1. Tout le matériel expérimental est préalablement stérilisé à l'autoclave. Les dispositifs de culture sont placés dans des chambres de culture étanches, dont la température, l'humidité et l'éclairage sont contrôlés.

Quatre expériences (A, B, C, D) ont été réalisées dans des conditions différentes d'humidité et de nutrition minérale potassique (Tableau 2).

Les conditions d'humidité et de nutrition générale du maïs étaient nettement moins bonnes dans l'expérience A car, outre la carence potassique, la disposition de la mèche dans un tube de verre la protégeant jusqu'à la partie supérieure du sable gélosé et l'enrobage des grains de sable par une plus faible quantité de gélose entraînaient une mauvaise alimentation en eau et en sels minéraux. Comme l'humidité du support de culture, qui dépend, dans les dispositifs expérimentaux, de la quantité de gélose

TABLEAU 1. — Analyses chimiques de la biotite. Résultats exprimés en ‰
 Chemical analysis of biotite (‰)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Biotite (5-50 µm)	404	145	186	2,9	138	11,3	1,9	77	31
Biotite (50-250 µm)	389	148	189	2,8	140	7,9	1,5	87	32

enrobant les grains de sable et de la disposition de la mèche transférant la solution nutritive, n'a pu être déterminée avec précision, nous avons considéré que le niveau de croissance des plantes (c'est-à-dire la biomasse produite) était une bonne résultante des conditions du milieu.

Dans chacune de ces expériences, les quatre traitements suivants ont été effectués :

- plante seule (la suspension-dilution d'inoculation est ajoutée après avoir été autoclavée : 1 ml par plante);
- plante + microflore non symbiotique (on ajoute 1 ml d'une suspension-dilution 10⁻³ du sol de culture de maïs après l'avoir filtrée à 10 µm pour éviter la présence d'endophytes) ;
- plante + endomycorhizes (on ajoute environ 50 spores de **Glomus** désinfectées superficiellement dans une solution de chloramine T à 2 ‰, streptomycine 0,2 ‰ et une goutte de teepol, puis rincées au moins 6 fois à l'eau stérile) ;
- plante + microflore non symbiotique + endomycorhize (on ajoute environ 50 spores de **Glomus** et 1 ml de la suspension-dilution filtrée par plante).

En fin d'expérience, la stérilité des systèmes racinaires des traitements « plante seule » et « plante-endomycorhize » a été vérifiée. Les traitements contaminés ont été éliminés. L'infection endomycorhizienne a été estimée par observation microscopique de 30 fragments de racines, après coloration selon la méthode de PHILIPPS et HAYMAN (1970).

La microflore non symbiotique a été également dénombrée sur milieu gélosé (BERTHELIN et LEYVAL, sous presse). Le poids des parties aériennes et des racines est déterminé après séchage. Après minéralisation (eau oxygénée et acide perchlorique), on dose les cations par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les quantités d'éléments minéraux mobilisés (Q_m) par la plante seule ou inoculée sont calculées à l'aide de la formule :

$$Q_m = Q_{p,a} + Q_r + Q_s - Q_i$$

où Q_{p,a} représente la quantité dosée en fin d'expérience dans les parties aériennes, Q_r dans les racines, Q_s dans le milieu nutritif et Q_i la quantité initialement présente, apportée par la graine et le milieu nutritif.

RESULTATS.

I. — POPULATIONS MICROBIENNES RHIZOSPHERIQUES.

Pour les quatre expériences, l'infection mycorhizienne et la population bactérienne rhizosphérique se sont bien développées, et ne sont que très peu différentes d'un

TABLEAU 2. — Résumé des conditions expérimentales

Summary of the experimental conditions

Expériences		A	B	C	D
Conditions d'humidité	ml gélose à 8 % pour 375 g de sable	60		90	
	Disposition de la mèche	Tube protégeant la mèche	Mèche libre		
Température		24°C (nuit) - 28°C (jour)			
Eclairage		20 000 lux pendant 14 heures/jour			
Nutrition minérale	K soluble (mg/plante)	0,6	0,7	0	4,2
		carence			
	K insoluble (g de biotite/plante)	1	1	1	1
	Taille des grains de biotite (µm)	50-250	50-250	50-250	5-50
Champignon endomycorhizien		<i>Glomus mosseae</i>		<i>Gl. epigaeus</i>	<i>Gl. mosseae</i>
Durée de l'expérience		7 semaines		8,5 semaines	

traitement à l'autre (tableau 3). Toutefois, on peut remarquer que contrairement à ce qu'avaient observé AZCON *et al.* (1976), la présence de la microflore non symbiotique diminuerait l'infection mycorhizienne. D'autre part, la présence d'endomycorhizes limiterait le nombre des bactéries rhizosphériques, quand les conditions de croissance de la plante sont mauvaises et moyennes (expériences A et B). On observe l'effet contraire quand les conditions de croissance sont meilleures (expériences C et D).

TABLEAU 3. — Taux d'infection mycorhizienne et population bactérienne rhizosphérique dans les 4 expériences (n.d. : non déterminé)

Root infection rate of maize by *Glomus mosseae* (A, B, D) or *G. epigaeus* (C) and bacterial rhizospheric population

Traitement Expériences	Taux d'infection endomycorhizienne (%)		Population bactérienne rhizosphérique (par g de matière sèche)	
	Plante + endomyc.	Plante + bactéries + endomyc.	Plante + bactéries	Plante + bactéries + endomyc.
A	n.d.	n.d.	10^8	4.10^6
B	67	65	10^8	3.10^7
C	64	56	10^6	3.10^6
D	59	53	2.10^8	7.10^8

II. — CROISSANCE DU MAÏS.

On constate que les conditions de culture, propres à chacune des quatre expériences (tableau 2), entraînent un niveau de croissance très différent pour la plante non inoculée (traitement « plante seule ») (figure II).

Pour simplifier la présentation et la discussion des résultats, on classera les conditions de croissance (ou de culture de la plante) en trois catégories : mauvaises, moyennes, bonnes, correspondant respectivement aux expériences A (mauvaises), B et C (moyennes) et D (bonnes).

Par rapport au traitement « plante seule », la présence des microflores symbiotiques et non symbiotiques modifie la production de biomasse végétale (figure II).

Dans l'expérience A, où les conditions de culture sont les plus mauvaises, seule la présence simultanée des deux types de microflores stimule significativement la croissance des parties aériennes ($P = 0,1$) (tableau 4). On observe aussi que le développement des parties aériennes est significativement ($P = 0,05$) plus important en présence des deux microflores qu'en présence des seules bactéries.

Dans l'expérience B, où les conditions de culture sont moyennes, on constate que, par rapport aux plantes non inoculées, soit l'infection endomycorhizienne, soit le développement d'une microflore bactérienne, stimulent significativement ($P = 0,01$) la croissance du maïs. En revanche, si la présence simultanée de ces deux types de microorganismes stimule aussi la croissance, on ne distingue pas d'effet significatif, à cause d'une plus grande dispersion des résultats (Figure II) (tableau 4).

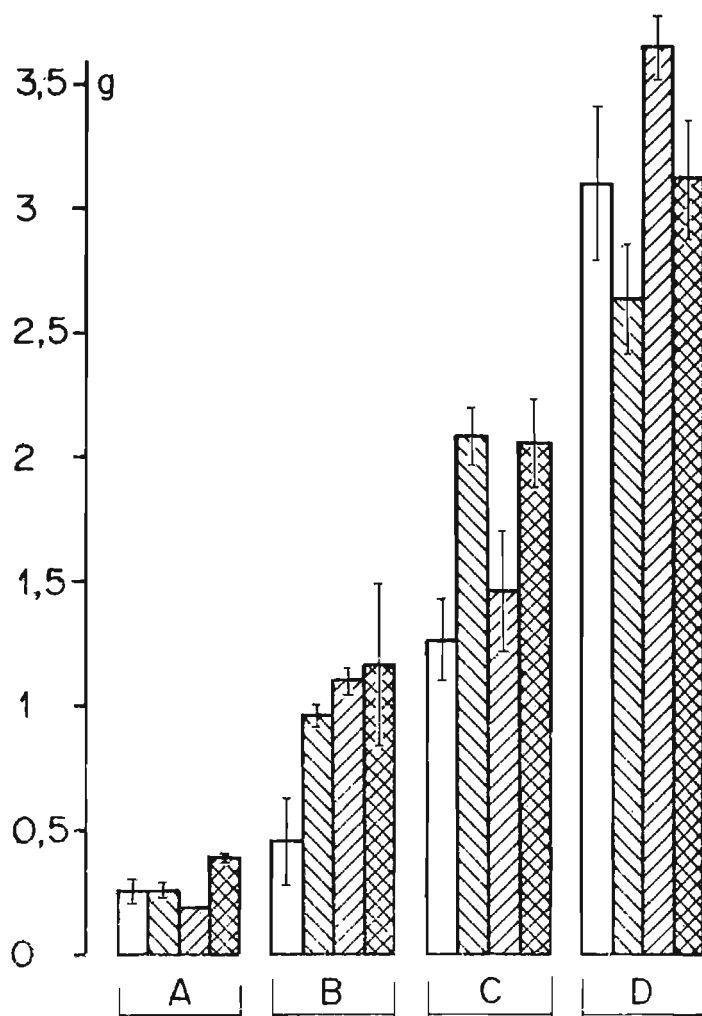


FIGURE 11. — Matière sèche des parties aériennes après 7 semaines (A et B) et 8,5 semaines de culture (C et D)

Shoots dry weight of maize after 7 (A and B) and 8.5 weeks of culture (C and D)





-  Plante seule - Plant alone
-  Plante + bactéries - Plant + bacteria
-  Plante + endomycorhizes - Plant + endomycorrhiza
-  Plantes + bactéries + endomycorhizes - Plant + bacteria + endomycorrhiza

TABLEAU 4. — Signification statistique des différences de biomasse des parties aériennes entre les traitements des quatre expériences (test *t* indépendant de Student) - $P = 0,01$ (***) ; $P = 0,05$ (**); $P = 0,1$ (*)

Shoots weight : significant differences between treatments of the four experiments

Traitement Expérience	Plante seule	Plante + bactéries	Plante + endomyc.	Plante + bactéries + endomyc.
A			←—————* *————→	←—————*————→
B	←—————* * *————→	←—————* * *————→		
C	←—————* * *————→	←—————* *————→	←—————* *————→	←—————* *————→
D		←—————* *————→		←—————*————→

Quand la croissance du maïs est encore moyenne, mais d'un meilleur niveau (expérience C), seule la microflore non symbiotique et la présence simultanée des deux types de micro-organismes stimulent significativement la croissance ($P = 0,01$ et $P = 0,05$). En revanche, par rapport à la plante non inoculée, et malgré un taux d'infection voisin de ceux des autres expériences, l'infection endomycorhizienne ne stimule pas significativement la croissance. Cette différence peut être due à l'utilisation d'un champignon différent (**Glomus epigaeus** remplaçant **Glomus mosseae**). Mais ce peut être aussi la carence très stricte en potassium qui favorise l'activité bactérienne et ralentit celle des champignons endomycorhiziens.

Enfin, quand les conditions de culture sont bonnes, la présence des microflores symbiotiques et non symbiotiques ne modifie pas significativement la croissance des parties aériennes du maïs (Figure II et tableau 4) (expérience D).

On remarque, toutefois, une biomasse légèrement plus faible en présence des bactéries et une biomasse sensiblement plus importante en présence de **Glomus mosseae**. Il n'y a aucun effet dû à la présence simultanée des 2 types de microflore. On peut encore remarquer que, soit la présence d'endomycorhizes, soit la présence simultanée des 2 microflores, entraîne une production de biomasse significativement plus importante ($P = 0,05$ et $P = 0,1$) que la seule présence des bactéries.

Comme divers auteurs l'on déjà constaté pour des plantes cultivées dans des milieux respectivement plus ou moins enrichis en azote ou en phosphore assimilables, la stimulation de la croissance en présence de bactéries fixatrices d'azote ou en présence de champignons mycorhizogènes n'est significative qu'en conditions de cultures plutôt mauvaises. Dans notre cas, il s'agit des expériences A, B et C pour lesquelles les conditions de culture correspondent à une mauvaise alimentation en eau et en sels minéraux et/ou une carence en potassium.

III. — MOBILISATION DU POTASSIUM ET DU FER DE LA BIOTITE.

Pour ces quatre expériences, on a constaté que les quantités d'éléments minéraux, et en particulier de potassium, de phosphore et de magnésium absorbées par les parties aériennes du maïs, sont corrélées significativement ($P = 0,01$) avec la biomasse de ces

parties aériennes (résultats non présentés, cf. LEYVAL, 1981 ; LEYVAL et BERTHELIN, sous presse).

L'altération de la biotite, mesurée par les quantités Q_m de potassium et de fer de la biotite mobilisées dans les systèmes plante seule ou plante + microflore symbiotique et/ou non symbiotique, a lieu aussi bien en présence de la plante seule qu'en présence des associations plantes-micro-organismes (tableau 5).

Par rapport aux quantités de potassium, de magnésium et de phosphore exportées dans les parties aériennes et qui sont corrélées significativement avec les biomasses produites (LEYVAL, 1981 ; LEYVAL et BERTHELIN, sous presse), les quantités de potassium et de fer de la biotite mobilisées dans les systèmes plantes ou plantes-micro-organismes apparaissent plus incohérentes (tableau 5).

Toutefois, à part deux exceptions concernant les traitements plante + bactéries des expériences A et D qui correspondent respectivement aux conditions de cultures mauvaises et bonnes, on constate que les associations plantes-micro-organismes favorisent la mobilisation du potassium de la biotite par rapport au traitement plante seule.

Les mobilisations les plus importantes du potassium sont observées dans les systèmes « plantes + bactéries + champignons endomycorhiziens » pour les expériences A et B. Pour l'expérience C, la mobilisation du potassium est légèrement plus importante pour les plantes cultivées seulement en présence des bactéries tandis que pour l'expérience D, c'est la plante endomycorhizée qui mobilise davantage le potassium.

La mobilisation du fer de la biotite n'a été déterminée que dans les expériences C et D. On n'observe pas, comme pour le potassium, de différence générale entre les systèmes plantes et plantes-micro-organismes. Cependant, cette mobilisation est plus importante pour les systèmes « plantes-bactéries » que pour l'ensemble des traitements, en particulier dans l'expérience C. On note aussi une exception concernant le traitement plante-endomycorhizée de l'expérience D pour lequel, sans que l'on puisse l'expliquer, aucune mobilisation du fer de la biotite n'est mise en évidence.

Dans nos conditions expérimentales, c'est donc en présence de l'association plantes-bactéries et pour l'expérience C dont nous avons qualifié les conditions de culture de moyennes que le potassium et le fer de la biotite sont les plus fortement mobilisés.

TABLEAU 5. — Quantités de potassium et de fer de la biotite [Q_m (K) et Q_m (Fe)] mobilisées par chaque plante (en mg de K et Fe/plante)

Amounts of K and Fe from biotite [Q_m (K) and Q_m (Fe)] mobilized by the different plant treatments (results in mg of K and Fe per plant)

		Plante seule	Plante + bactéries	Plante + endomyc.	Plante + bactéries + endomyc.
Q_m (K)	A	1,9	0,8	2,1	2,3
	B	1,9	2,3	2,1	2,8
	C	4,6	5,5	4,7	5,2
	D	4,4	3,3	4,8	4,6
Q_m (Fe)	C	4,5	6,6	4,4	4,8
	D	2,8	4,0	0,0	3,4

Ces différences de mobilisation du potassium et du fer de la biotite dans les différents traitements ne peuvent être reliées aux différences des biomasses végétales produites, mais montrent que, dans de nombreux cas, les micro-organismes favorisent l'altération de la biotite.

L'analyse chimique de la biotite résiduelle recueillie en fin de l'expérience C, comparée à celle de la biotite initiale, a montré qu'en fonction des traitements considérés, « plante seule » ou « plante + microflore symbiotique et/ou non symbiotique », la biotite a perdu respectivement environ 2 à 4% de son potassium. Ces pertes en potassium (800 à 5.500 µg de K/g de biotite) se font aux dépens du potassium échangeable (environ 350 µg de K/g de biotite) mais aussi et surtout du potassium du réseau cristallin. Dans les conditions expérimentales adoptées, ce potassium solubilisé et/ou absorbé par la plante est échangé en partie par du calcium et du sodium présents dans la solution nutritive. L'analyse par diffraction des rayons X n'a pas permis de mettre en évidence des modifications de la structure cristalline des biotites recueillies en fin d'expérience.

CONCLUSION - DISCUSSION.

Les résultats de ces 4 expériences nous permettent de vérifier que le dispositif expérimental de culture des plantes, en conditions axéniques, que nous avons mis au point, permet bien d'étudier le rôle de la microflore symbiotique endomycorhizienne (*Glomus mosseae* ou *Glomus epigaeus*), de la microflore rhizosphérique non symbiotique, et des deux microflores associées, sur l'altération des minéraux (cas de la biotite), l'absorption des éléments minéraux par une plante et sa croissance.

On constate que l'infection endomycorhizienne (*Glomus mosseae* et *Glomus epigaeus*) et les microflores bactériennes rhizosphériques se sont bien développées dans ces dispositifs pour tous les traitements considérés.

Ces microflores symbiotiques et non symbiotiques peuvent stimuler la croissance de la plante en favorisant la solubilisation et l'absorption des éléments minéraux. Mais leur action dépend des conditions du milieu, comme en particulier les carences en éléments solubles (sels de potassium) et l'humidité, qui déterminent le niveau de croissance de la plante.

On peut distinguer 3 cas :

- Lorsque les conditions nutritives sont « bonnes » pour la plante (pas de carence en potassium, fort taux d'humidité), sa croissance est peu influencée par les microflores. On peut cependant noter une légère stimulation de croissance sous l'influence du champignon endomycorhizien (*Glomus mosseae*) et un léger ralentissement sous l'influence des microflores non symbiotiques. Dans ce cas, les populations bactériennes rhizosphériques ne modifient pas significativement l'exportation du potassium dans les parties aériennes, ni la mobilisation du potassium de la biotite, excepté dans le traitement plante-bactéries où l'on observe un ralentissement de croissance du maïs et de la mobilisation du potassium. On note une plus importante mobilisation du fer de la biotite dans le système plante-bactérie et l'absence inexplicquée de mobilisation dans le système maïs endomycorhizé.

En revanche, l'effet des microflores rhizosphériques sur la croissance du maïs est significatif lorsque les conditions nutritives sont « mauvaises » ou « moyennes ».

- Quand le niveau de croissance est « moyen », nous n'avons observé d'effet significatif, stimulant la mobilisation des éléments minéraux et la croissance de la plante, qu'en présence de l'une ou l'autre microflore. L'association des deux microflores stimule aussi sensiblement la croissance. Toutefois, en raison d'une plus grande dispersion des résultats, on ne peut observer d'effet significatif. C'est l'association « plante-microflore bactérienne » qui entraîne la mobilisation la plus importante du potassium et du fer de la biotite, mais tous les systèmes plantes-micro-organismes favorisent cette mobilisation.

● Quand les conditions sont « mauvaises », seule l'action des deux microflores associées stimule significativement la croissance et sensiblement la mobilisation du potassium.

La biotite s'altère rapidement et libère facilement du potassium et du fer sous l'influence des microflores rhizosphériques. Cette solubilisation du potassium se fait aux dépens du potassium échangeable, mais aussi et surtout du potassium du réseau cristallin. C'est la microflore bactérienne non symbiotique qui stimule le plus efficacement cette altération quand les conditions de croissance sont moyennes (expérience C).

Les mécanismes d'action de ces micro-organismes sur la plante et sur les minéraux ne sont pas encore connus. Le rôle des endomycorhizes sur l'absorption des éléments minéraux et sur la croissance de la plante pourrait être lié à une meilleure exploration du sol (HAYMAN et MOSSE, 1972). Mais il pourrait également être dû à la production de substances de croissance (BAREA et al., 1980).

L'action des micro-organismes pourrait être directe, par absorption des éléments minéraux et transfert à la plante (cas des endomycorhizes), mais aussi indirecte. Dans ce dernier cas, 2 mécanismes pourraient intervenir. La production de substances de type hormonal par les bactéries et les endomycorhizes stimulerait la croissance de la plante, qui agirait alors plus efficacement comme une « pompe » à éléments minéraux. D'autre part, des substances acides plus ou moins complexantes produites par la plante ou les micro-organismes (KRUMBEIN, 1972; EL GIBALY, 1977; BERTHELIN, 1977) pourraient solubiliser les éléments minéraux et les rendre disponibles pour la plante. Comme nous n'avons pas observé, dans ces expériences, d'acidification des solutions nutritives, on peut penser que, dans les conditions expérimentales adoptées, la solubilisation du potassium et du fer par action de produits acides d'origine microbienne était un phénomène limité.

La connaissance de ces mécanismes de mobilisation des éléments minéraux dans la rhizosphère et de la nature des interactions « minéraux-micro-organismes non symbiotiques-micro-organismes symbiotiques-plantes » permettront de mieux comprendre le fonctionnement des cycles biogéochimiques et aurait des incidences fondamentales sur la nutrition minérale des plantes, la fertilité des sols et la pédogénèse.

Les auteurs remercient M^{me} et M. GIANINAZZI pour leur aide concernant les endomycorhizes.

SUMMARY

ROLE OF SYMBIOTIC AND NON SYMBIOTIC MICROFLORA ON BIOTITE WEATHERING AND MAIZE GROWTH: INFLUENCE OF PLANT GROWTH CONDITIONS

As plant growth depend on the culture conditions (temperature, humidity, mineral nutrition), the rhizospheric interactions « plant-microorganisms-minerals » are probably also depending on these conditions.

In order to determine the influence of such factors and also to distinguish the role of the non symbiotic and the symbiotic microflora of the rhizosphere of maize and of their association on the weathering of a mica (biotite) and on the plant growth, we have performed four experiments (A, B, C, D) with different plant growth levels (table 2)

*Plants were grown in axenic conditions in a laboratory device, in which the nutrient solution was deficient in potassium salts and where the mica biotite was a potassium source (figure 1). In different treatments, the roots were inoculated by symbiotic (endomycorrhizal fungi *Glomus mosseae* or *Glomus epigaeus*) and/or by non symbiotic microflora.*

In all these experiments, the rate of endomycorrhizal infection and the development of the non symbiotic microflora (essentially bacterial microflora) were high (table 3).

The symbiotic and non symbiotic microflora can stimulate maize growth, solubilization and absorption of potassium and iron from biotite. But their effect depend on growth conditions.

— When the growth conditions were good (no potassium deficiency, high rate of humidity) (experiment D), the maize growth was not significantly influenced by endomycorrhiza (*Glomus mosseae*) and/or by the non symbiotic microflora (figure II).

However in these conditions, endomycorrhizal infection and non symbiotic microflora have respectively slightly increased or decreased plant growth.

Rhizospheric microbial populations did not really modify potassium mobilization except in presence of the plant-bacteria association where potassium mobilization has decreased. An inexplicable absence of iron mobilization was observed in the endomycorrhizal system but the iron mobilization was more important in presence of the plant-bacteria association.

— When the growth conditions were medium (experiments B and C) endomycorrhizal infection and non symbiotic microflora have increased significantly plant growth. The association of both microflora has also promoted plant growth but not significantly. Each microflora and their association have increased potassium and iron mobilization from biotite. But it was the non symbiotic microflora (essentially bacterial) that have much more promoted potassium and iron mobilization from biotite (experiment C) (table 5).

— When the growth conditions are bad (experiment A), only the association of symbiotic and non symbiotic microflora significantly promote plant growth and potassium mobilization.

Thus, non symbiotic and symbiotic microflora are able to stimulate plant growth and mineral elements mobilization and absorption. But, in our experimental devices, the effect of non symbiotic microflora on potassium and iron mobilization is more significant.

The mechanisms involved in these processes are not well known.

Rhizospheric microflora such as endomycorrhiza may absorb directly the mineral elements and transfer them to the plant. But bacteria and fungi can also produce hormonal substances that promote plant growth, or can form acid compounds, able to solubilize mineral elements and make them available to the plant.

Bibliographie

- AZCON (R.), BAREA (J.-M.), HAYMAN (D.-S.) (1976). — *Soil. Biol. Biochem.*, **8**, 135-138.
 BAREA (J.-M.), AZCON (C.), DE AGUILAR (G.) (1980). — *Abst. of the 11nd Int. Symp. on Microb. Ecol.*, Warwick (U.K.), p. 130.
 BERTHELIN (J.) (1977). — *Science du Sol*, **1**, 13-24.
 BERTHELIN (J.), LEYVAL (C.) (sous presse). — *Plant and Soil*.
 BOYLE (J.-R.), VOIGT (G.-K.) (1973). — *Plant and Soil*, **38**, 191-201.
 CONYERS (E.-S.), McLEAN (E.-O.) (1968). — *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **32**, 341-345.
 EL GIBALY (M.-H.), EL REWEINY (F.-M.), ABDEL NASSER (M.), EL DAHORY (T.-A.) (1977). — *Bakteriol. Parasitenkd. Infektionskr. Hyg.*, **11**, 132, 233-239.
 HAYMAN (D.-S.), MOSSE (B.) (1972). — *Rev. Ecol. Biol. Sol*, **9** (3), 463-470.
 JACKSON (T.-A.), VOIGT (G.-K.) (1971). — *Plant and Soil*, **35**, 655-658.
 JACO (V.) (1970). — *Thèse de Doctorat de Spécialité, Université de Nancy I*.
 JUANG (T.-C.), UEHARA (G.) (1968). — *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **32**, 31-35.
 KRUMBEIN (W.-E.) (1972). — *Rev. Ecol. Biol. Sol*, **9** (3), 283-321.
 LEYVAL (C.) (1981). — *Thèse de Doctorat de 3^e cycle, Université de Nancy I*, 116 p.
 LEYVAL (C.), BERTHELIN (J.) (sous presse). — *Colloque « Les mycorrhizes, partie intégrante de la plante : biologie et perspectives d'utilisation »*, Dijon, 5-6 mai 1982.
 LOUW (H.A.), WEBLEY (S.B.) (1959). — *J. Appl. Bact.*, **22**, 227-234.
 MORTLAND (M.-M.), LAWTON (K.), UEHARA (G.) (1956). — *Soil Science*, **82**, 477-481.
 PHILLIPS (J.-M.), HAYMAN (D.-S.) (1970). — *Trans. Brit. Mycol. Soc.*, **55**, 158-161.
 POWELL (C.-L.), DANIEL (J.) (1978). — *N.Z.J. Agric. Res.*, **21**, 675-681.
 RAGHU (K.), McRAE (I.-C.) (1966). — *J. Appl. Bacteriol.*, **29**, 582-586.
 SPERBER (J.-I.) (1958). — *Australian J. Agric. Res.*, **9**, 778-781.
 SPYRIDAKIS (D.-E.), CHESTERS (G.), WILDE (S.-A.) (1967). — *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, **31**, 203-210.
 SWABY (R.-J.), SPERBER (J.) (1958). — *Proc. Univ. Nottingham Fifth Easter Sch. Agric. Sci.*, 289-294 (CSIRO, Adélaïde).