

— *Dabou* : la texture de ce sol est très argileuse (90 % d'éléments inférieurs à 20 μ), mais grâce à une forte teneur en matière organique, structure et perméabilité sont satisfaisantes. Les teneurs en N, P et K sont élevées. Ce sol est bien pourvu en bases échangeables.

— *Abengourou* : les propriétés physiques de ce sol sont assez bonnes (texture argilo-limono-sableuse, structure et perméabilité moyennes). Malgré une teneur en matière organique élevée, la somme des bases échangeables

III. — ÉTUDE PRÉLIMINAIRE

Les sols de rizières sont essentiellement caractérisés par des alternances de submersions et de ressuyages, qui se répercutent sur leur équilibre biologique.

Afin d'apprécier les perturbations provoquées par les modifications du régime hydrique, nous avons suivi *in situ* ou à partir de sols fraîchement prélevés, l'évolution d'un certain nombre de paramètres à des intervalles de temps réguliers au cours du cycle de culture. Les observations que nous avons faites peuvent être résumées ainsi :

1. Variations du pH et du rH *in situ*.

Le régime hydrique a un effet très marqué sur l'évolution du pH et du rH : la submersion provoque une élévation du pH et une chute du rH ; l'exondation entraîne les effets inverses. Dans l'horizon de surface, les valeurs extrêmes observées au cours du cycle de culture ont été les suivantes :

	pH		rH	
	submersion	exondation	submersion	exondation
Dabou	6,20	4,50	13,5	29,0
Abengourou	6,60	5,60	18,0	29,0
Yamoussokro	7,00	6,20	17,0	22,5

La submersion a donc pour effet de porter le pH des sols à des valeurs relativement proches de la neutralité ce qui favorise la fixation de N₂. Il est probable d'autre part, que l'établissement de conditions semi-anaérobies soit propice à ce processus qui, du point de vue biochimique, est anaérobie (BURRIS, 1969).

2. Activité déshydrogénasique.

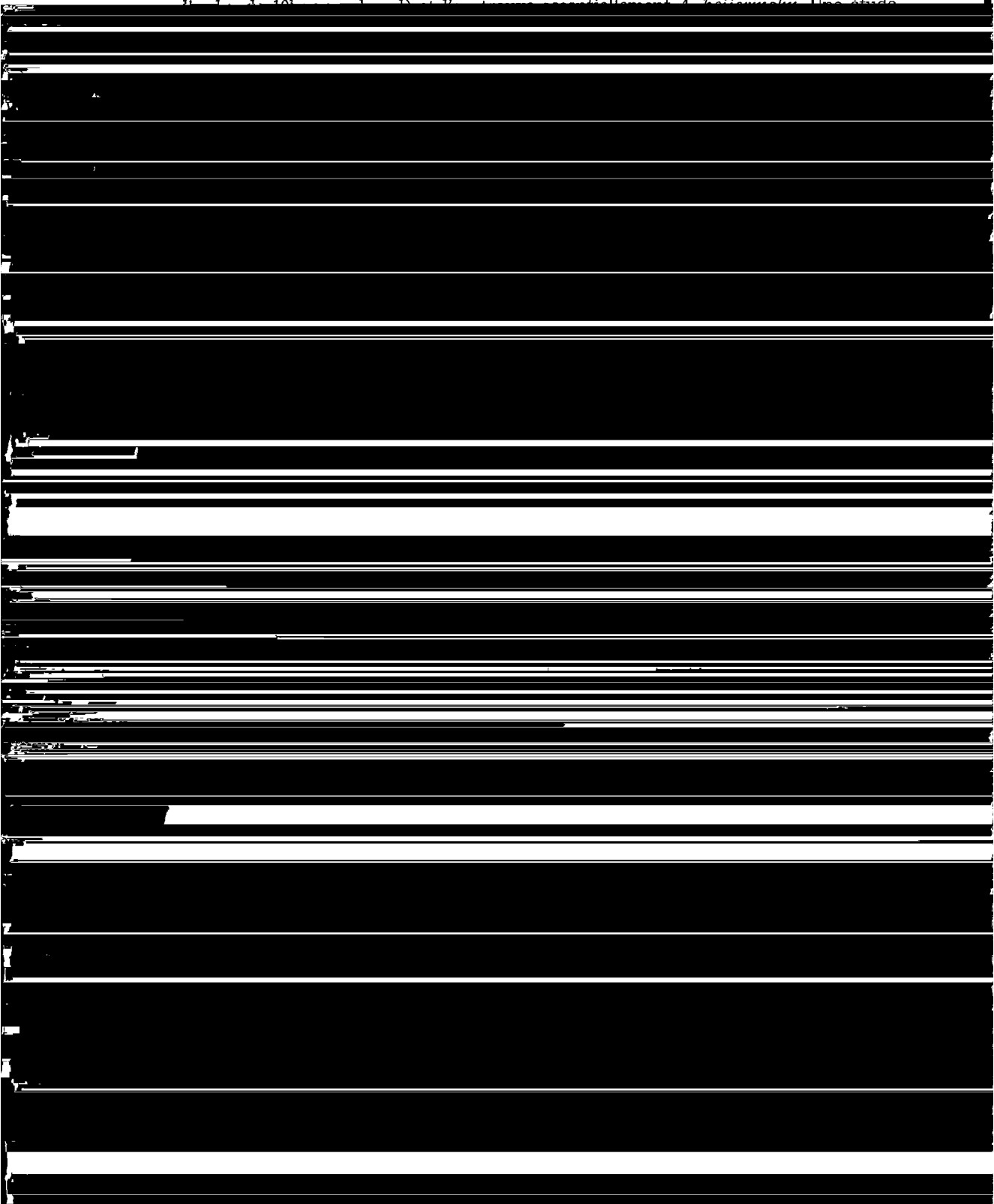
La mesure de l'activité déshydrogénasique est essentiellement le reflet de la teneur du sol en substrats carbonés facilement métabolisables ; il s'agit en fait d'une méthode de mesure globale de l'activité respiratoire (CASIDA, 1968).

Les résultats obtenus montrent que cette activité (exprimée ici en μl d'hydrogène transférés en 24 heures par g de carbone) est susceptible de variations importantes sous l'effet des pratiques culturales : elle passe par exemple dans le sol de Dabou de 450 μl H par g de carbone avant le labour, à 3 700 μl H par g de carbone après la mise en eau (Fig. 1).

3. Fixation de N₂.

Les numérations de germes fixateurs qui ont été effectuées sur les trois sols, permettent de penser que la fixation de N₂ est surtout le fait des Clostridium et des Cyanophycées dont les densités sont fortes dans les trois sols (de l'ordre de 10⁸ par g de sol). Les densités en Azotobacter ne sont élevées que pour le sol de Yamoussokro (de l'ordre de 10⁵ par g de sol), en relation probablement avec un pH voisin de la neutralité. L'espèce dominante est alors *A. chroococcum*. Aux pH plus bas (Dabou et Abengourou), les densités en Azotobacter sont plus réduites (de

Il est à noter que les résultats obtenus sont en accord avec ceux obtenus par d'autres auteurs.



la teneur en azote total (N) et l'activité fixatrice potentielle $\left(\frac{\Delta N \times 100}{N}\right)$ varient en sens inverse (on a exprimé les variations ΔN de la teneur en azote total des sols en % de leur teneur initiale en azote). On observe d'autre part un certain parallélisme entre les variations des teneurs en azote total et en azote ammoniacal (Fig. 1). L'évolution de l'activité fixatrice potentielle pourrait donc s'expliquer par un effet inhibiteur de l'azote ammoniacal sur la fixation de N_2 .

IV. — ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA FIXATION NETTE D'AZOTE DANS DES SYSTÈMES « SOL SANS PLANTE » PAR LA MÉTHODE DE KJELDAHL

Dans le sol, les différentes transformations de l'azote se déroulent simultanément. Par la détermination de l'azote total on ne peut donc qu'apprécier l'effet *net* des processus qui tendent à enrichir ou appauvrir le sol en azote.

A. — MÉTHODOLOGIE

La technique utilisée consiste à placer un échantillon de sol dans des conditions relativement proches des conditions de terrain, et à déterminer les variations ΔN de la teneur en azote total de cet échantillon pendant un intervalle de temps assez long.

1. Dispositif expérimental pour l'étude des facteurs humidité et éclaircissement.

L'expérimentation a été réalisée sur des échantillons de sols placés dans des béchers de 50 ml à raison de 20 g de sol sec par bécher, et soumis à diverses conditions d'incubation (S : submersion constante ; H : 4 cycles successifs exondation-submersion ; C-O : capacité au champ-obscurité ; C-L : capacité au champ-lumière ; S-O : submersion-obscurité ; S-L : submersion-lumière).

Les mesures ont été effectuées après 28 jours d'incubation à 28° C par la méthode de Kjeldahl : le contenu de chaque bécher a été mis en suspension dans un volume total de 50 ml d'eau distillée, et les dosages ont été faits à partir de 5 ml de suspension.

2. Dispositif expérimental pour l'étude des facteurs substrats énergétiques et azote ammoniacal.

L'apport de divers substrats énergétiques (glucose, pailles ou racines) a été combiné avec des additions complémentaires d'azote ammoniacal.

Les essais ont été faits à la fois sur des sols placés dans des conditions de submersion et sur des suspensions de sol (5 g de sol dans 200 ml d'eau). Dans ce cas, les analyses d'azote ont eu lieu après une semaine d'incubation à 28° C.

Remarque : chaque traitement a donné lieu à 3 répétitions. A partir de chaque échantillon ont été faites 4 analyses d'azote, soit au total 12 répétitions par traitement. La précision des mesures est ainsi de l'ordre de 1 %.

B. — RÉSULTATS

Afin de faciliter l'interprétation des résultats obtenus, ne seront mentionnées sous forme de schéma, que les variations en azote total (ΔN).

1. Influences des facteurs humidité et lumière.

L'analyse des résultats obtenus (Fig. 2), nous permet de faire trois observations essentielles :

- la submersion stimule l'activité fixatrice,
- les fixations *nettes* les plus fortes sont obtenues en associant submersion et lumière. Ceci montre le rôle des Cyanophycées fixatrices dans l'enrichissement du sol en azote,

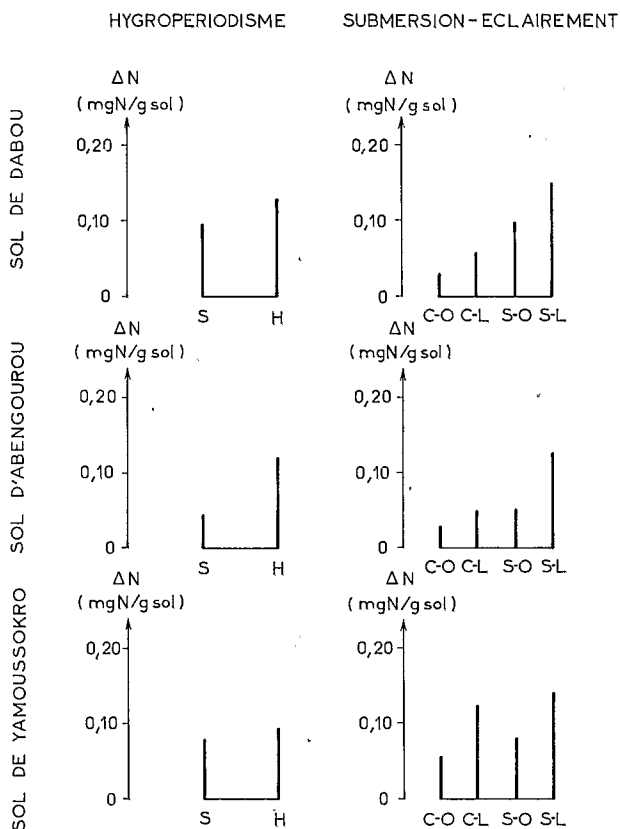


FIG. 2. — Influence des facteurs hygropériodisme, submersion et lumière, sur la fixation *nette* de N_2 dans des systèmes « sol sans plante », exprimée par la variation ΔN de la teneur en azote du sol (S : submersion constante ; H : 4 cycles successifs exondation submersion ; C-O : capacité au champ-obscurité ; CL : capacité au champ-lumière ; S-O : submersion-obscurité ; S-L : submersion-lumière).

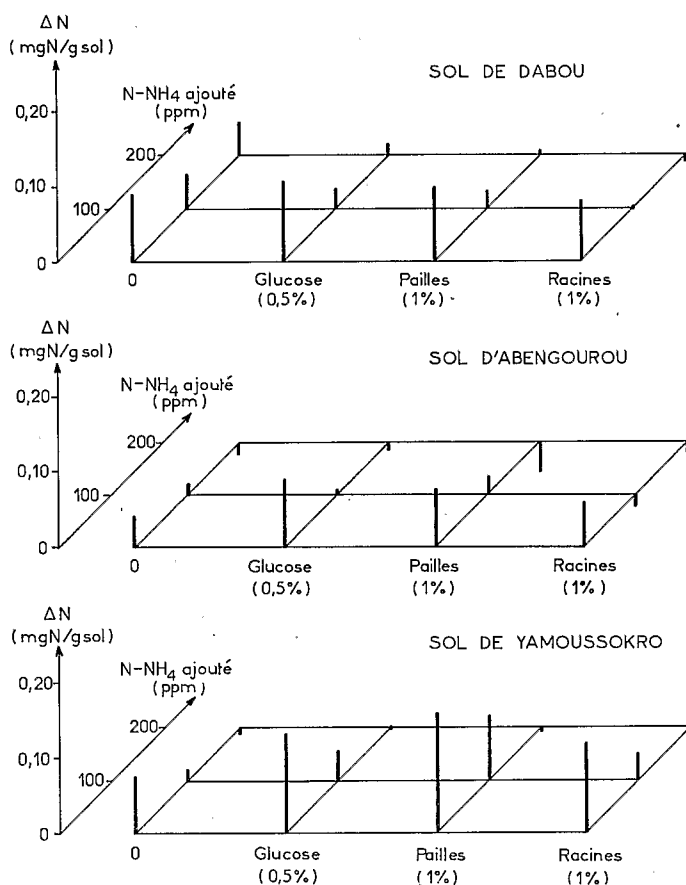


FIG. 3. — Influence des apports de substrats énergétiques (glucose, pailles, racines) et d'azote ammoniacal, sur la fixation *nette* de N_2 dans des systèmes « sol sans plante », exprimée par la variation ΔN de la teneur en azote du sol (les concentrations sont exprimées par rapport au poids de sol sec).

— l'hydropériodisme stimule davantage l'activité fixatrice qu'une submersion constante, ce qui s'explique probablement par une libération plus intense des substrats énergétiques à partir de la matière organique du sol.

2. Influence des facteurs substrats énergétiques et azote ammoniacal.

Les résultats obtenus à partir de sols (Fig. 3) ou de suspensions de sols (Fig. 4), montrent que :

— sans apport d'azote ammoniacal, les gains dus à la fixation de N_2 sont appréciables même sans enrichissement en substances énergétiques ;

— quand on apporte de l'azote ammoniacal, ces gains sont plus faibles ;

trification est négatif en présence de substrats énergétiques, quand la fixation de N_2 est bloquée par de fortes concentrations en azote ammoniacal ;

— le sol de Dabou paraît être le moins sensible à l'effet inhibiteur de l'azote ammoniacal ce qui pourrait s'expliquer par le fait que les concentra-

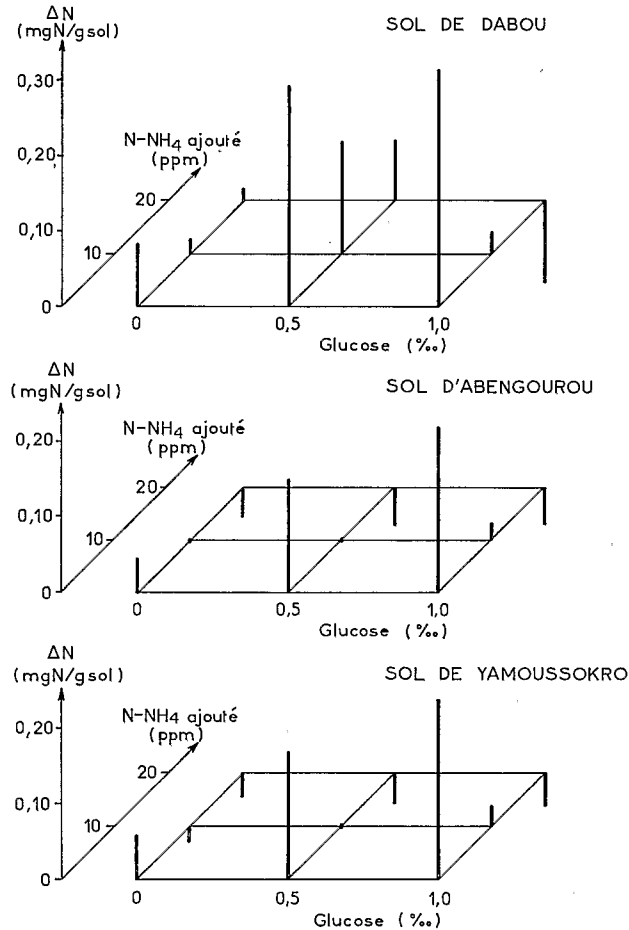


FIG. 4. — Influence des apports de substrat énergétique (glucose) et d'azote ammoniacal, sur la fixation *nette* de N_2 dans des suspensions de sol, exprimée par la variation ΔN de la teneur en azote du sol (les concentrations sont exprimées par rapport au volume total).

tions en cet élément généralement observées *in situ* dans ce sol sont les plus fortes (de l'ordre de 100 ppm contre 50 à 70 ppm pour les sols de Yamoussokro et Abengourou) ;

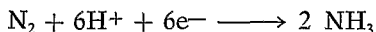
— les pailles constituent un meilleur substrat énergétique que les racines.

Cette première partie de l'étude expérimentale apporte un certain nombre de précisions aux observations faites lors de l'étude préliminaire. Toutefois

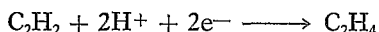
nous n'avons opéré jusqu'ici que sur le sol seul. L'étude de la fixation de N_2 dans l'écosystème sol-plante a été rendue possible par l'utilisation de la méthode de réduction de l'acétylène.

V. — ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA FIXATION BRUTE D'AZOTE
DANS DES SYSTÈMES « SOL SANS PLANTE »
OU DES SYSTÈMES « SOL-PLANTE »
PAR LA MÉTHODE DE RÉDUCTION DE L'ACÉTYLÈNE

L'estimation de la fixation biologique de N_2 par la méthode de réduction de l'acétylène est fondée sur l'existence d'une relation quantitative entre la réaction de réduction de l'azote moléculaire :



et la réaction de réduction de l'acétylène :



La réduction d'une molécule d'azote exigeant 6 électrons et la réduction d'une molécule d'acétylène en exigeant seulement 2, le rapport molaire théorique « $C_2H_4 : N_2$ réduit » est de 3. Mais l'expérience montre que si ce rapport est souvent de l'ordre de 3 avec des extraits acellulaires de microorganismes, il peut être très différent de cette valeur dans le cas de cellules intactes (BERGERSEN, 1970) ou de systèmes plus complexes tels que le sol (BROUZES *et al.*, 1971). Il est donc indispensable de vérifier la valeur du rapport molaire « $C_2H_4 : N_2$ réduit » dans les conditions expérimentales où l'on se place.

Remarque : conformément à la suggestion de HARDY *et al.* (1972), nous ferons suivre les valeurs de fixation de N_2 ainsi mesurées de la formule de l'acétylène entre crochets [C_2H_2].

A. — MISE AU POINT DE LA MÉTHODOLOGIE

La méthode de réduction de l'acétylène consiste à placer le système à étudier dans une enceinte fermée, en contact avec une atmosphère enrichie en acétylène, et à mesurer la production d'éthylène par chromatographie en phase gazeuse. La technique utilisée est celle de STEWART *et al.* (1967) et HARDY *et al.* (1968), modifiée en ce qui concerne la composition du mélange gazeux : nous avons en effet remplacé le mélange oxygène-argon-acétylène, par un mélange renfermant seulement argon et acétylène (A : 0,9 atm. ; C_2H_2 : 0,1 atm.), des expériences préliminaires ayant montré la supériorité de ce mélange.

1. Cas du système « sol sans plante ».

Pour obtenir au laboratoire une fixation de N_2 significative dans un échantillon de sol sans plante, il est souvent nécessaire d'apporter une source d'énergie. Cet apport énergétique est un substrat carboné pour les bactéries

fixatrices non photosynthétiques, la lumière pour les microorganismes photosynthétiques.

a) *Dispositif expérimental pour l'étude de l'influence de la concentration en azote ammoniacal sur la fixation de N_2 [C_2H_2] par des sols enrichis en glucose.*

Les sols ont été placés dans des flacons de 12 ml à raison de 2 g par flacon. Les conditions optimales de mesure ont été déterminées par des expériences préliminaires qui ne seront pas décrites ici. Ces conditions sont les suivantes :

— prétraitement consistant à placer les sols 15 jours dans des conditions de submersion,

— addition de 0,5 ml d'une solution contenant glucose et sulfate d'ammoniac en quantités variables (0 à 2 % de glucose et 0 à 200 ppm N-NH₄, ces concentrations étant exprimées par rapport au poids de sol sec),

— préincubation avec glucose et azote ammoniacal de durée optimale pour chaque sol (Dabou : 38 h, Abengourou : 45 h, Yamoussokro : 36 h),

— mise en incubation sous argon et acétylène.

La réduction de C_2H_2 en fonction du temps est linéaire ; les mesures sont effectuées après 5 h d'incubation (5 répétitions par mesure).

b) *Dispositif expérimental pour l'étude de la fixation de N_2 [C_2H_2] par des sols incubés à la lumière.*

2 g de sol ont été placés dans des flacons de 12 ml et maintenus 30 jours à 28° C sous une lame d'eau. La photopériode a été de 14 h d'illumination et

caoutchouc étanche avec virolle, en présence du mélange gazeux argon-acétylène. Les flacons sont incubés à 28° C à l'obscurité et les mesures effectuées après divers temps d'incubation. Une activité nitrogénasique n'est observée que dans le cas de sols plantés ; la courbe de réduction de C_2H_2 comprend une phase de latence de 8 à 12 h, suivie d'une phase linéaire de 10 à

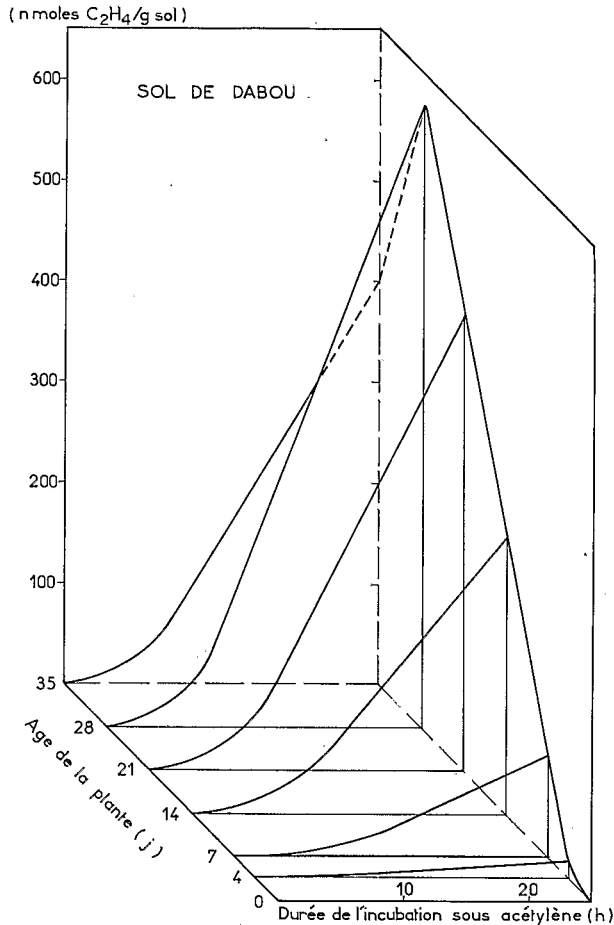


FIG. 5. — Fixation de N_2 [C_2H_2] par le système « sol-plante » en fonction du temps d'incubation, à divers âges de la plante (la réduction de C_2H_2 est nulle dans le cas de sols non plantés).

14 h. L'activité des sols non plantés est pratiquement nulle. A titre d'exemple, nous avons représenté dans le cas du sol de Dabou, les courbes de réduction de C_2H_2 à divers âges de la plante (Fig. 5). La vitesse de fixation de N_2 [C_2H_2] est déduite de la vitesse de réduction de C_2H_2 correspondant à la phase linéaire en se fondant sur le rapport molaire théorique « C_2H_4 : N_2 réduit » de 3 (RINAUDO *et al.*, 1971).

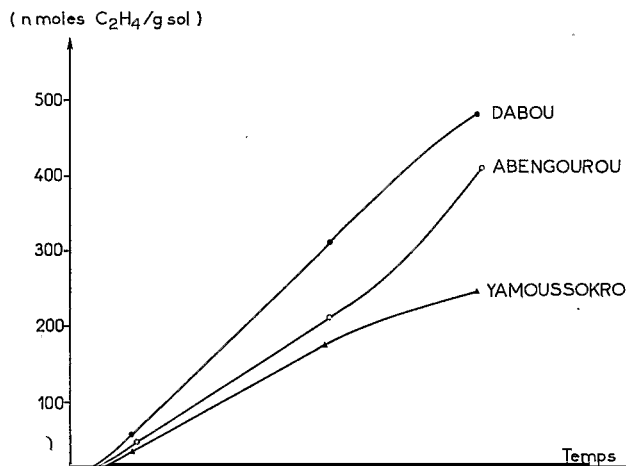
On détermine ainsi l'activité nitrogénasique du système « sol-plante » à un moment donné. De telles mesures ont été effectuées à des intervalles de temps réguliers pendant 35 jours (5 répétitions par mesure) afin de tracer pour chacun des trois sols, la courbe d'activité nitrogénasique en fonction de l'âge de la plante. On peut alors estimer graphiquement la quantité d'azote

tion en glucose dans le sol. Toutefois l'allure de ces courbes semble montrer que l'azote ammoniacal préexistant (de l'ordre de 60 à 100 ppm N-NH_4) n'exerce pas d'effet dépressif très marqué ; ainsi dans le sol de Dabou enrichi par 2 % de glucose, la vitesse de réduction de C_2H_2 ne diminue que de 372 à 356 nmoles $\text{C}_2\text{H}_4/\text{g sol/h}$, après un apport de 50 ppm d'azote ammoniacal. L'azote ammoniacal étant assimilé préférentiellement à l'azote moléculaire

pures d'*Azotobacter* (STRANDBERG et WILSON, 1958), *Clostridium* (ZELITCH, 1951), et *Calothrix* (STEWART, 1964).

b) *Fixation de N_2 [C_2H_2] par des sols incubés à la lumière.*

L'activité nitrogénasique des sols maintenus à l'obscurité est pratiquement nulle. La figure 7 représente la réduction de C_2H_2 en fonction du temps d'incubation des sols incubés à la lumière. Les vitesses maximales de réduction de C_2H_2 sont respectivement : 75,0, 77,5 et 42,5 nmoles C_2H_4 /g sol sec/h, pour les sols de Dabou, Abengourou et Yamoussokro. Les valeurs correspondantes calculées en se fondant sur le rapport molaire « C_2H_4 : N_2 réduit » de 3 sont : 9,82, 10,10 et 5,54 μ g N/g sol sec/j.



(tableau II et III). L'adoption du rapport molaire « $C_2H_4 : N_2$ réduit » de 3 nous paraît donc justifiée dans le cas du système expérimental considéré (RINAUDO et DOMMARGUES, 1971).

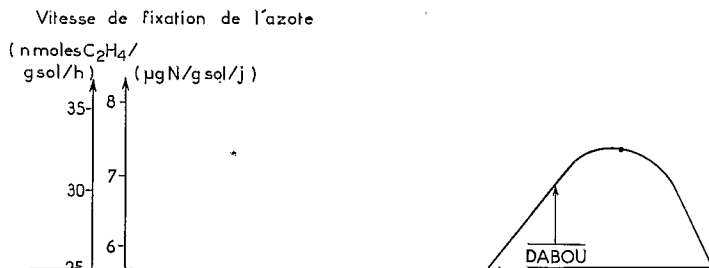


TABLEAU III

Rapports molaires « C_2H_4 : N_2 réduit » calculés à partir des données expérimentales
Fixation de N_2 en 35 jours

	Méthode de réduction de l'acétylène (nmoles C_2H_4/g sol)	Méthode de Kjeldahl (nmoles N/g sol)	Rapport molaire calculé
Sol de Dabou.....	15 420	5 860	2,64
Sol d'Abengourou.....	5 580	1 780	3,14
Sol de Yamoussokro.....	8 790	3 210	2,74

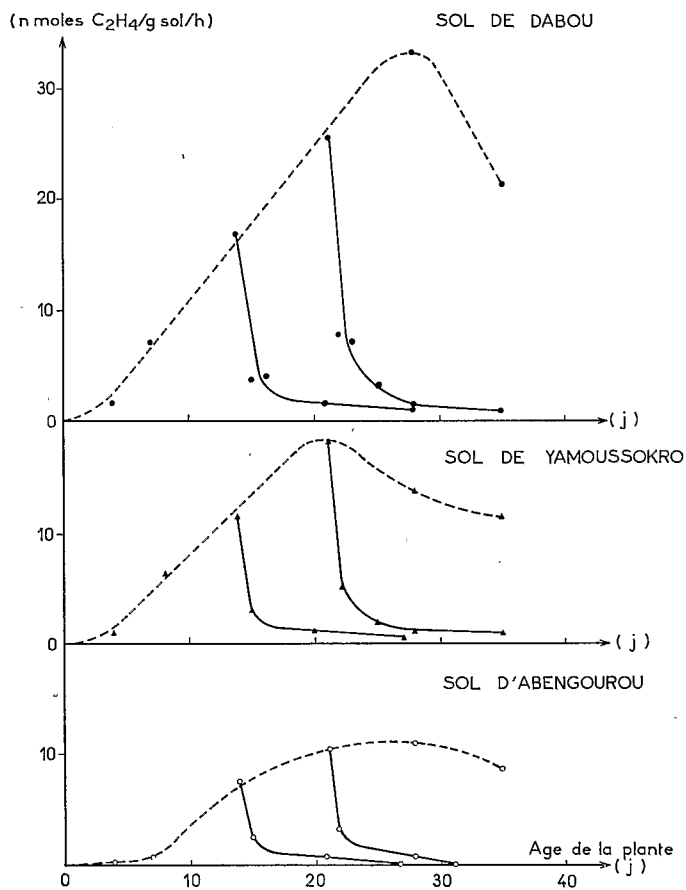


FIG. 9. — Influence de la coupe sur l'activité fixatrice de N_2 [C_2H_4] dans la rhizosphère du riz :

----- plante entière,
——— plante coupée.

b) *Influence de la coupe des parties aériennes du riz.*

La vitesse de réduction de C_2H_2 a été également mesurée après la coupe des parties aériennes. Cette coupe est intervenue aux 14^e et 21^e jours. On a reporté sur la figure 9 les vitesses de fixation dans les jours qui suivent la coupe. Dans les trois sols, l'effet est très net : la vitesse de fixation baisse en moyenne de 80 % dans les 24 heures qui suivent la coupe. Elle devient pratiquement négligeable après 5 jours.

Cette expérience met bien en évidence l'influence favorable des exsudats racinaires sur l'activité fixatrice : quand la plante meurt, l'exsudation cesse et l'activité fixatrice devient nulle.

c) *Influence du type pédologique.*

La fixation de N_2 [C_2H_2] dans la rhizosphère du riz, varie considérablement en fonction du type pédologique du sol (Fig. 8). Les variations sont vraisemblablement dues à l'intervention de facteurs physiques (texture, structure...) ou chimique (complexe absorbant, taux d'humification...), qui ont une incidence directe sur la nutrition de la plante, donc sur l'exsudation racinaire. Ainsi, les vitesses de fixation les plus fortes, sont obtenues avec le sol de Dabou, qui, du point de vue chimique, est plus riche que les sols de Yamoussoko et Abengourou.

VI. — CONCLUSIONS

La fertilité élevée des sols de rizières peut être associée à leur remarquable aptitude à s'enrichir en azote. La fixation libre de N_2 est particulièrement active dans deux sites distincts : l'interface sol-eau où le développement des Cyanophycées est luxuriant, et la rhizosphère du riz où les exsudats fournissent aux bactéries fixatrices, les substrats énergétiques nécessaires à leur activité. Dans les deux cas, la submersion du sol est un facteur favorable : les Cyanophycées sont en effet nettement hydrophiles, et la submersion induit des modifications physico-chimiques du milieu favorables à l'activité des bactéries fixatrices. De plus l'azote ammoniacal semble ne pas avoir d'effet inhibiteur très marqué aux concentrations généralement observées dans ces sols. La fixation de N_2 par les Cyanophycées est forte dans les trois sols (de l'ordre de 20 kg N/ha/mois, dans les conditions expérimentales).

L'activité fixatrice dans la rhizosphère est étroitement liée à la croissance de la plante, elle-même fonction du potentiel nutritionnel du sol. C'est pourquoi on observe des variations d'activité importantes suivant le type de sol, les plus fortes activités étant obtenues avec le sol de Dabou, qui, du point de vue agronomique, est le plus riche. Les conditions opératoires sont trop éloignées des conditions de terrain pour qu'il soit permis d'extrapoler à l'hectare de rizière, les taux de fixation mesurés expérimentalement. Néanmoins les résultats obtenus semblent montrer que pour de bons sols, la contribution des bactéries fixatrices au niveau de la rhizosphère, est d'une importance agronomique tout à fait comparable à celle des Cyanophycées, dans l'enrichissement des sols de rizières en azote.

RÉSUMÉ

Une étude préliminaire *in situ*, a montré que la submersion des sols de rizières a pour effet de créer un environnement particulièrement favorable à la fixation de N₂.

La fixation d'azote paraît être essentiellement le fait des bactéries anaérobies (*Clostridium* en particulier) et des *Cyanophycées*, dont les densités sont fortes dans les trois sols. Les *Azotobacter* ne semblent jouer un rôle appréciable que dans le sol d'une station (Yamoussokro).

L'étude expérimentale a consisté à mesurer dans des sols placés dans des conditions d'incubation contrôlées, en présence ou en l'absence de plante, la fixation d'azote *nette* par la méthode de Kjeldahl et la fixation d'azote *brute* par la méthode

2. Influence of light.

An active N_2 fixation by Cyanophyceae was observed: fixations of 6 to 10 $\mu\text{g N/g soil/day}$ were measured in soil samples incubated in the light (ca. 20 000 lux). Control samples incubated in the dark did not show a significant fixation.

3. Rice rhizospheric effect.

Rhizospheric nitrogen fixation appeared to be the other way of nitrogen enrichment in paddy soils: rates of fixation up to 2.5 to 8 $\mu\text{g N/g soil/day}$ were measured in planted soils. In non planted soils, the fixation was negligible.

The validity of the theoretical molar ratio » $C_2H_4: N_2$ reduced » of 3, was proved in our experimental model, by the comparative study of nitrogen fixation by the acetylene reduction method and the Kjeldahl method.

BIBLIOGRAPHIE

- BERGERSEN (F.J.), 1970. — The quantitative relationship between nitrogen fixation and the acetylene reduction assay. *Austr. J. Biol. Sci.*, **23** (5): 1015-1025.
- BROUZES (R.), MAYFIELD (C.I.), KNOWLES (R.), 1971. — Effect of oxygen partial pressure on nitrogen fixation and acetylene reduction in a sandy leam soil amended with glucose. *Plant and soil, Special volume*, 481-494.
- BURRIS (R.H.), 1969. — Progress in the biochemistry of nitrogen fixation. *Proc. Royal Soc. B*, **172**: 339-354.
- CASIDA (L.E.), 1968. — Methods for the isolation and estimation of activity of soil bacteria. In the Ecology of Soil Bacteria (Gray, Parkinson, eds.), *Liverpool Univ. Press*, 97-122.
- DE (P.K.), MANDAL (L.N.), 1956. — Fixation of nitrogen by algae in rice soils. *Soil Sci.*, **81**: 453-458.
- HARDY (R.W.F.), HOLSTEN (R.D.), JACKSON (E.K.), BURNS (R.C.), 1968. — The acetylene reduction assay for N_2 fixation : laboratory and field evaluation. *Plant physiol.*, **43** (8): 1185-1207.
- HARDY (R.W.F.), BURNS (R.C.), HOLSTEN (R.D.), 1973. — Applications of the acetylene-ethylene assay for measurement of nitrogen fixation. *Soil Biochem. Biol.*, **5**: 47-81.
- ISHIZAWA (S.), SUZUKI (T.), ARARAGI (M.), 1970. — Trend of free-living nitrogen fixers in paddy soils. *Proc. Second Symp. N_2 Fixation and Nitrogen Cycle* (H. Takahashi, ed.), 28-40.
- RINAUDO (G.), 1970. — Fixation biologique de l'azote dans trois types de sols de rizières de Côte-d'Ivoire. Thèse Doct. Ing., Fac. Sci. Montpellier.
- RINAUDO (G.), BALANDREAU (J.), DOMMERGUES (Y.), 1971. — Algal and bacterial non-symbiotic nitrogen fixation in paddy-soils. *Plant and Soil, Special Volume*, 471-479.
- RINAUDO (G.), DOMMERGUES (Y.), 1971. — Validité de l'estimation de la fixation biologique de l'azote dans la rhizosphère par la méthode de réduction de l'acétylène. *Ann. Inst. Past.*, **121**: 93-99.
- ROUQUEROL (Th.), 1964. — Sur l'activité des fixateurs d'azote dans les sols du delta de Camargue. Application d'une technique de mesure de capacité potentielle de fixation. *Ann. Agron.*, **15** (6): 599-617.
- SINGH (R.N.), 1961. — Role of blue-green algae in nitrogen economy of Indian Agriculture. I.C.A.R. New-Delhi, 175 pages.

- STEWART (W. D. P.), 1964. — Nitrogen fixation by Myxophyceae from marine environments. *J. Gen. Microbiol.*, **36**: 415-422.
- STEWART (W. D. P.), FITZGERALD (G. P.), BURRIS (R. H.), 1967. — In situ studies on N_2 fixation using the acetylene reduction technique. *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.*, **58**: 2071-2078.
- STRANDBERG (G. W.), WILSON (P. W.), 1968. — Formation of the nitrogen-fixing enzyme system in *Azotobacter vinelandii*. *Can J. Microbiol.*, **14**: 25-31.
- YOSHIDA (T.), ANCAJAS (R. R.), 1971. — Nitrogen fixation by bacteria in the root zone of rice. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **35**: 156-157.
- WATANABE (A.), 1965. — Studies on the blue-green algae as green-manure in Japan. *Proc. Nat. Acad. Sci. India, A* **35**: 361-369.
- ZELITCH (I.), 1951. — Simultaneous use of nitrogen and ammonia by *Clostridium pasteurianum*. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **37**: 559-565.