

*Filière Biologie Végétale Appliquée*  
*Semestre S5*  
*Module B-511*

Planches du Cours

Microbiologie du Sol

# PLANCHE 1

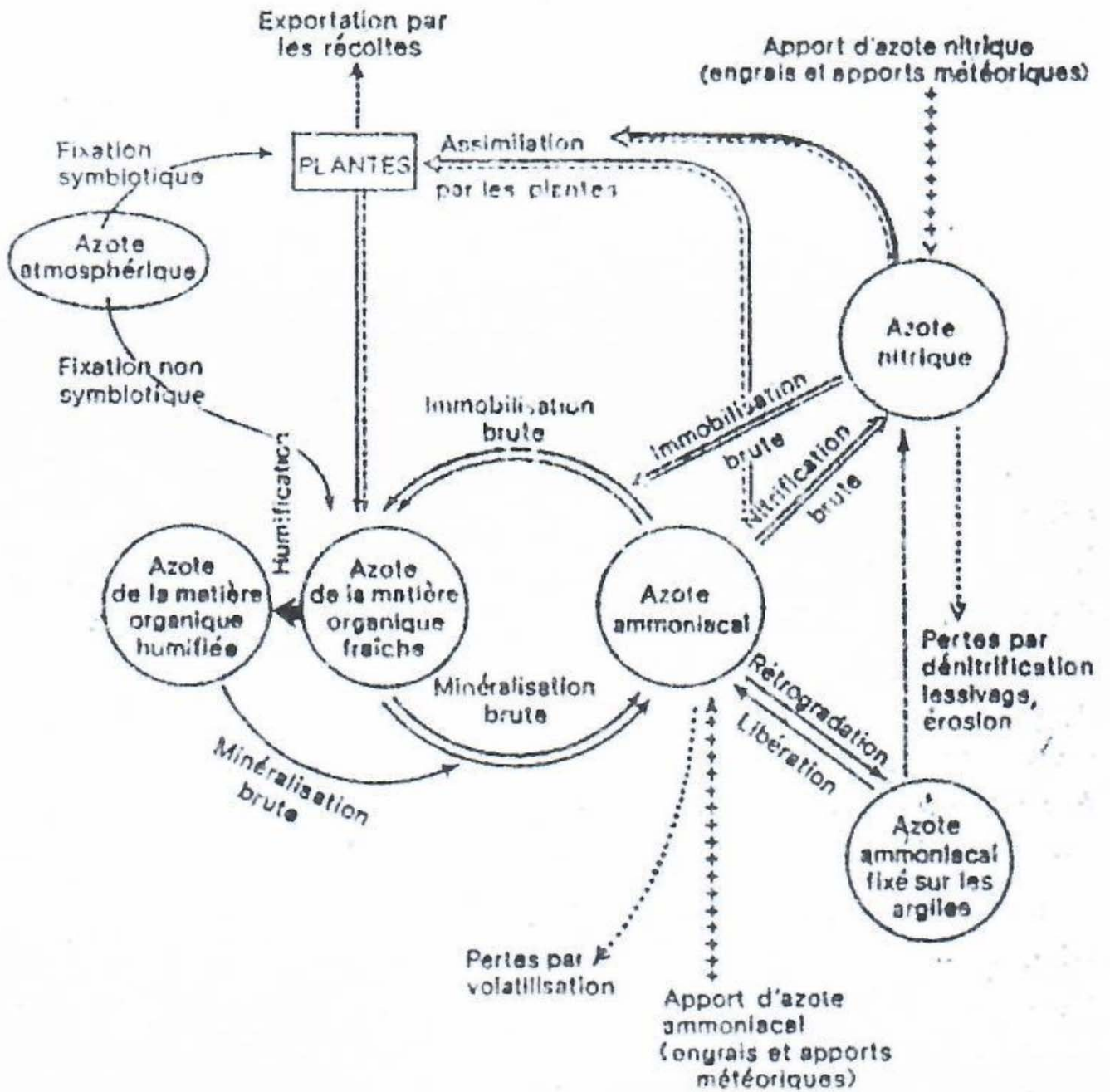


Fig. 9. — Transformations microbiennes de l'azote

Le cycle interne de l'azote est représenté par un trait double. Le cycle externe ou cycle biogéochimique est représenté par un trait plein doublé d'un trait interrompu.

# PLANCHE 2

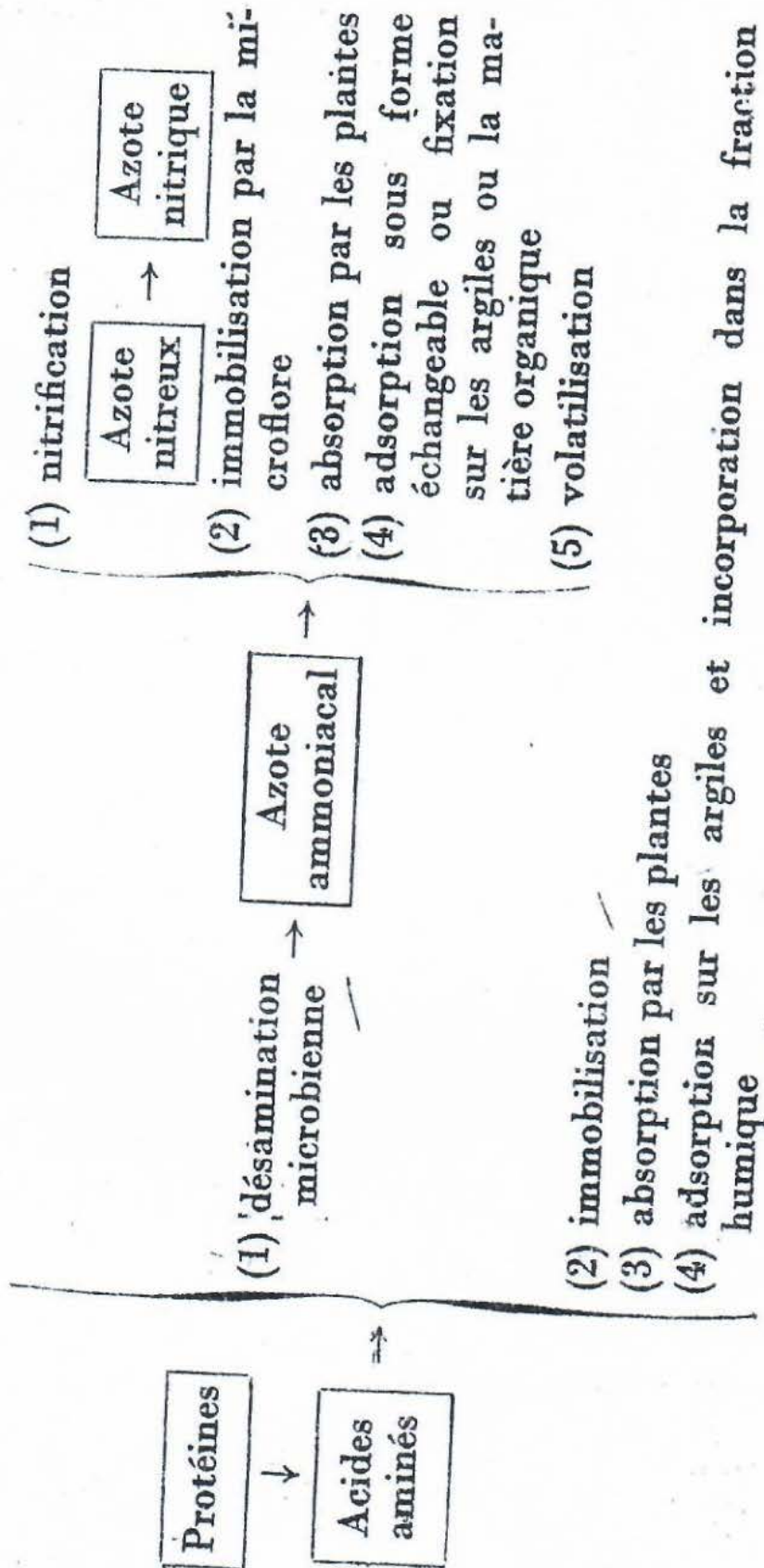
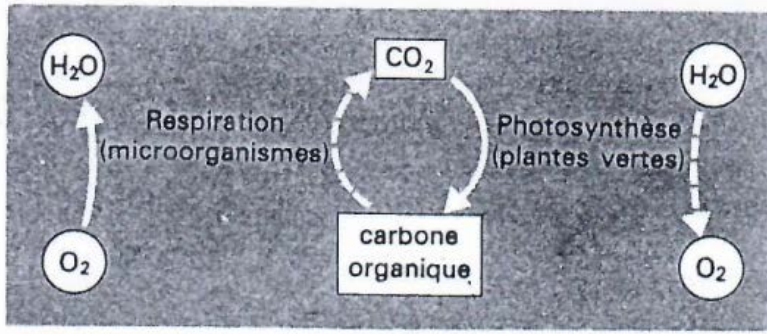
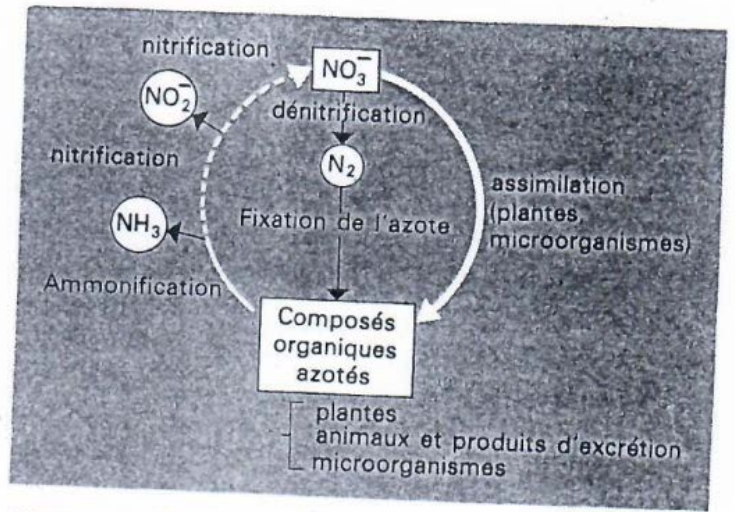


Fig. 10. — Principales étapes de la dégradation des protéines avec indication du devenir multiple de l'azote aminé et ammoniacal

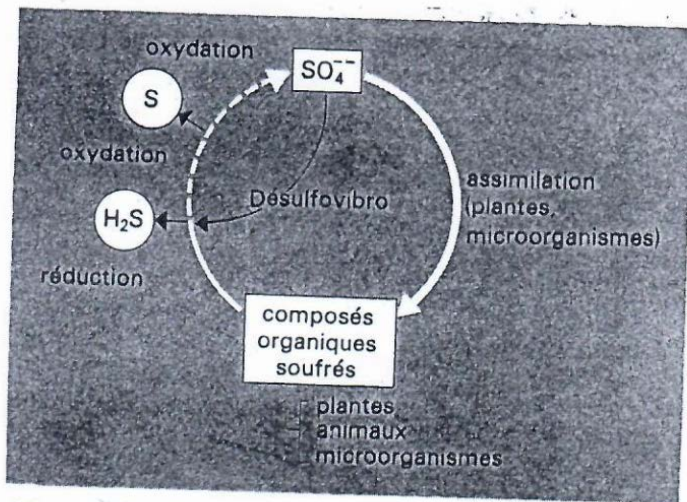
# PLANCHE 3



**Fig. - Cycle du carbone.**  
Le  $\text{CO}_2$  atmosphérique est assimilé par les plantes vertes et réduit en composés organiques végétaux et animaux. Ceux-ci sont oxydés par les microorganismes en  $\text{CO}_2$ . Corrélativement, la photosynthèse conduit à l'oxygène moléculaire nécessaire à l'oxydation du substrat organique.



**Fig. - Cycle de l'azote.**  
L'azote atmosphérique et les nitrates sont assimilés par les plantes selon divers mécanismes et transformés en composés organiques azotés. Ceux-ci sont, tour à tour et sous l'action des micro-organismes, réduits en ammoniac, puis oxydés en nitrates.



**Fig. - Cycle du soufre.**  
Les sulfates sont assimilés par les végétaux et incorporés dans des composés organiques. Ceux-ci sont décomposés en  $\text{H}_2\text{S}$ , puis oxydés en soufre et en sulfate sous l'action des micro-organismes.

# PLANCHE 4

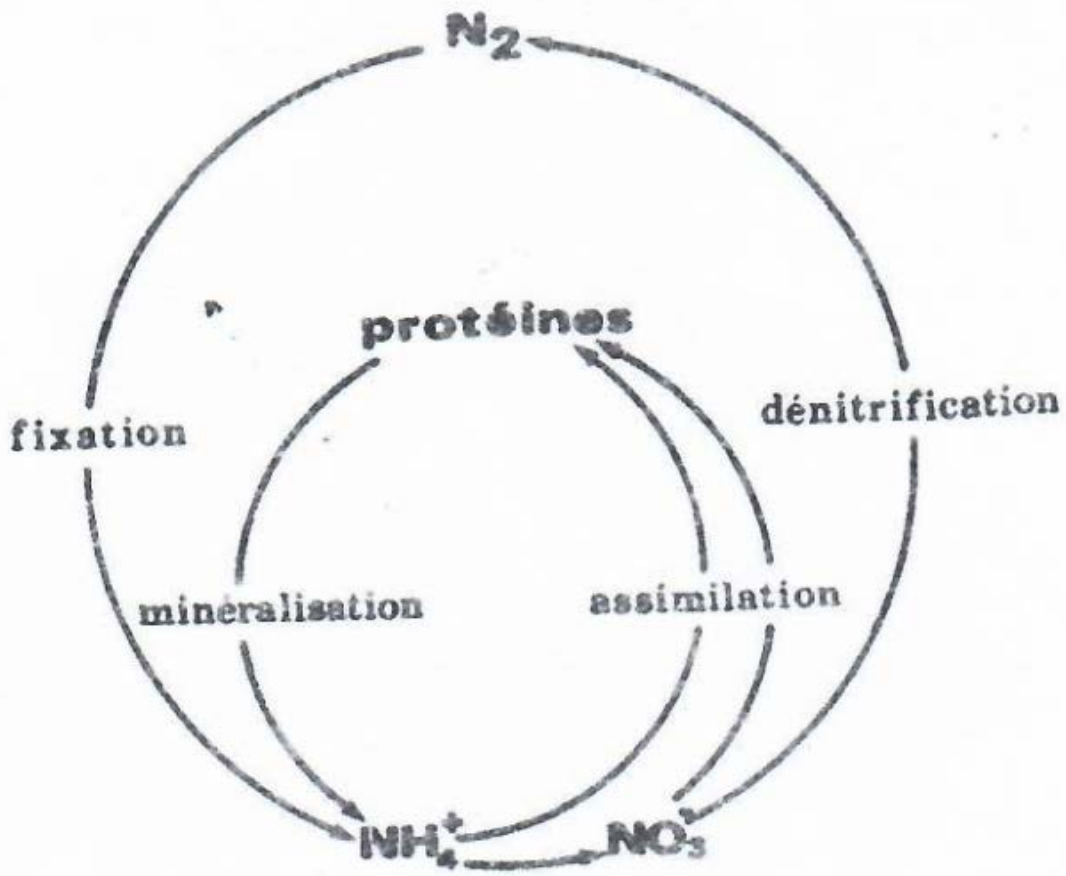


FIG. 1.1. - Le cycle de l'azote dans la biosphère.

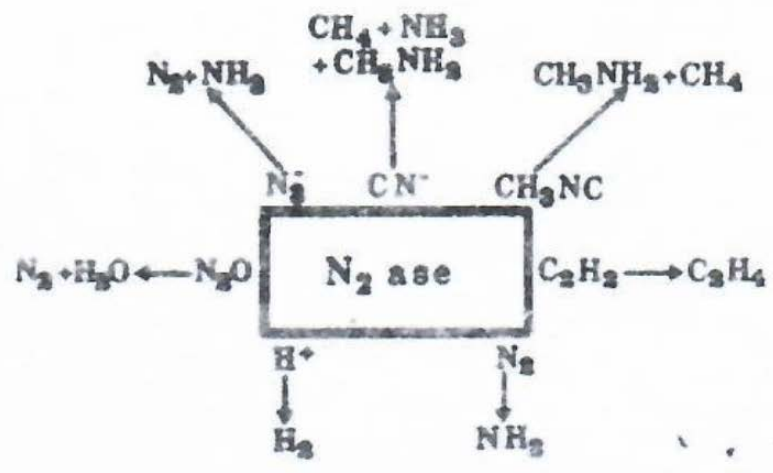


FIG. 1.2. - Les principales réactions de réduction catalysées par la nitrogénase.

# PLANCHE 5

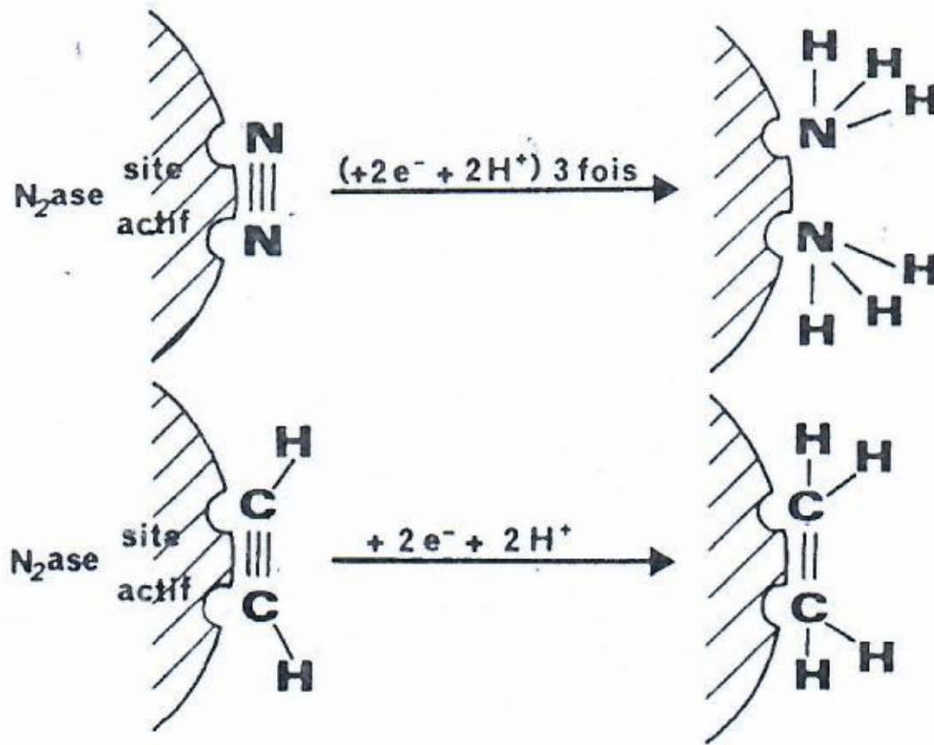


FIG. 1.3. — Représentation schématique de la réduction de l'azote et de l'acétylène par la nitrogénase soulignant les analogies de structure de ces deux substrats.

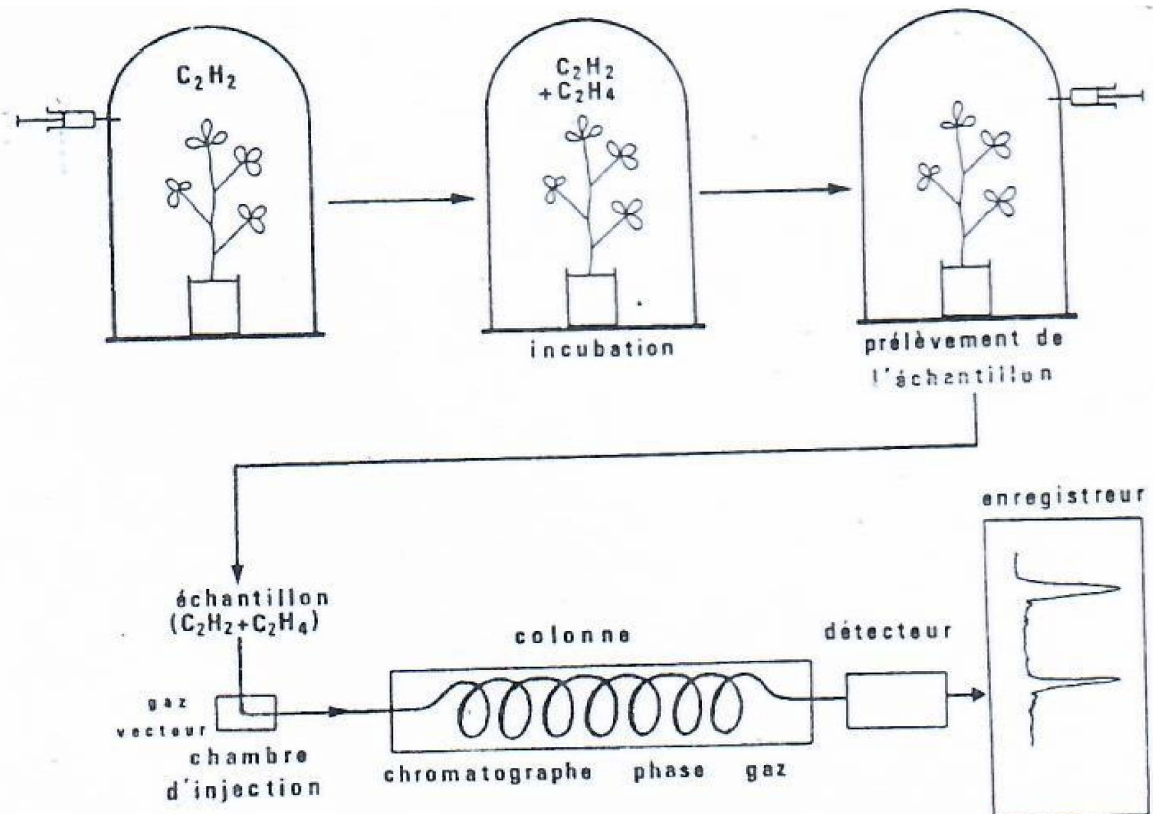


FIG. 1.4. — Principe de la technique de mesure de l'activité fixatrice d'azote par la méthode de la réduction de l'acétylène.

TABLEAU I. — Les bactéries libres fixatrices d'azote

|                                   | Genres   | Espèces les plus importantes  |
|-----------------------------------|--|---|
| <b>HÉTÉROTROPHES</b>              |  |   |
| <u>Aérobies</u>                   |  |   |
| <i>Azotobacteraceae</i>           | {<br><i>Azotobacter</i><br><i>Azomonas</i><br><i>Beijerinckia</i><br><i>Derxia</i> | ( <i>A. chroococcum</i> ,<br><i>A. vinelandii</i> )<br>( <i>B. indica</i> ) |
| Oxydants du méthane               | {<br><i>Methylomonas</i><br><i>Methylococcus</i><br><i>Methylosinus</i>            |   |
|                                   | * « <i>Spirillum</i> »   | ( <i>S. lipoferum</i> )   |
| <u>Facultativement anaérobies</u> |  |   |
| <i>Enterobacteriaceae</i>         | {<br><i>Klebsiella</i><br><i>Enterobacter</i><br><i>Citrobacter</i>                | ( <i>K. pneumoniae</i> )  |
|                                   | <u><i>Bacillus</i></u>   | ( <i>B. polymyxa</i> )  |
| <u>Anaérobies obligé</u>          |  |   |
| Sulfato-réducteurs                | {<br><i>Clostridium</i><br><i>Desulfotomaculum</i><br><i>Desulfovibrio</i>         | ( <i>C. pasteurianum</i> )  |
| <b>CHIMIOTROPHES</b>              |  |   |
|                                   | <i>Thiobacillus</i>  | ( <i>T. ferrooxidans</i> )  |
|                                   | * « <i>Corynebacterium</i> »   | ( <i>C. autotrophicum</i> )   |
| <b>PHOTOTROPHES</b>               |  |   |
| Sulfureuses                       | {<br><i>Chlorobium</i><br><i>Chromatium</i>  | ( <i>C. vinosum</i> )   |
| Non-sulfureuses                   | {<br><i>Rhodospirillum</i><br><i>Rhodomicrobium</i><br><i>Rhodopseudomonas</i>     | ( <i>R. rubrum</i> )  |

\* La position taxonomique de ces bactéries a été revue (voir le texte).

PLANCHE 6 bis

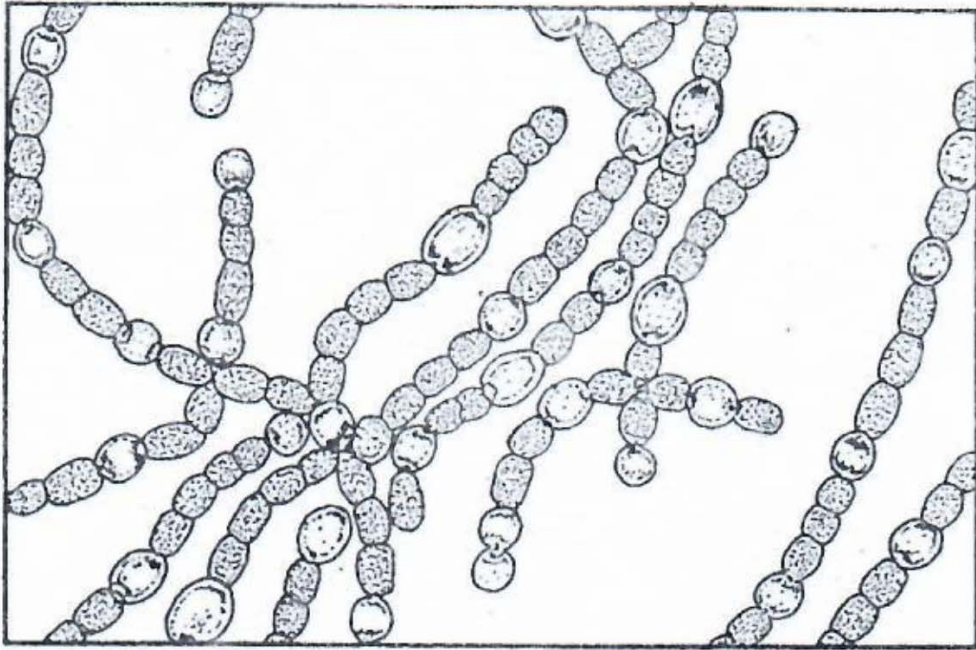


FIG. 4.9. — *A. azollae* isolée d'une cavité foliaire avec ses nombreux hétérocystes, d'après Peters et Mayne, 1974, Plant Physiol., 53, 813.

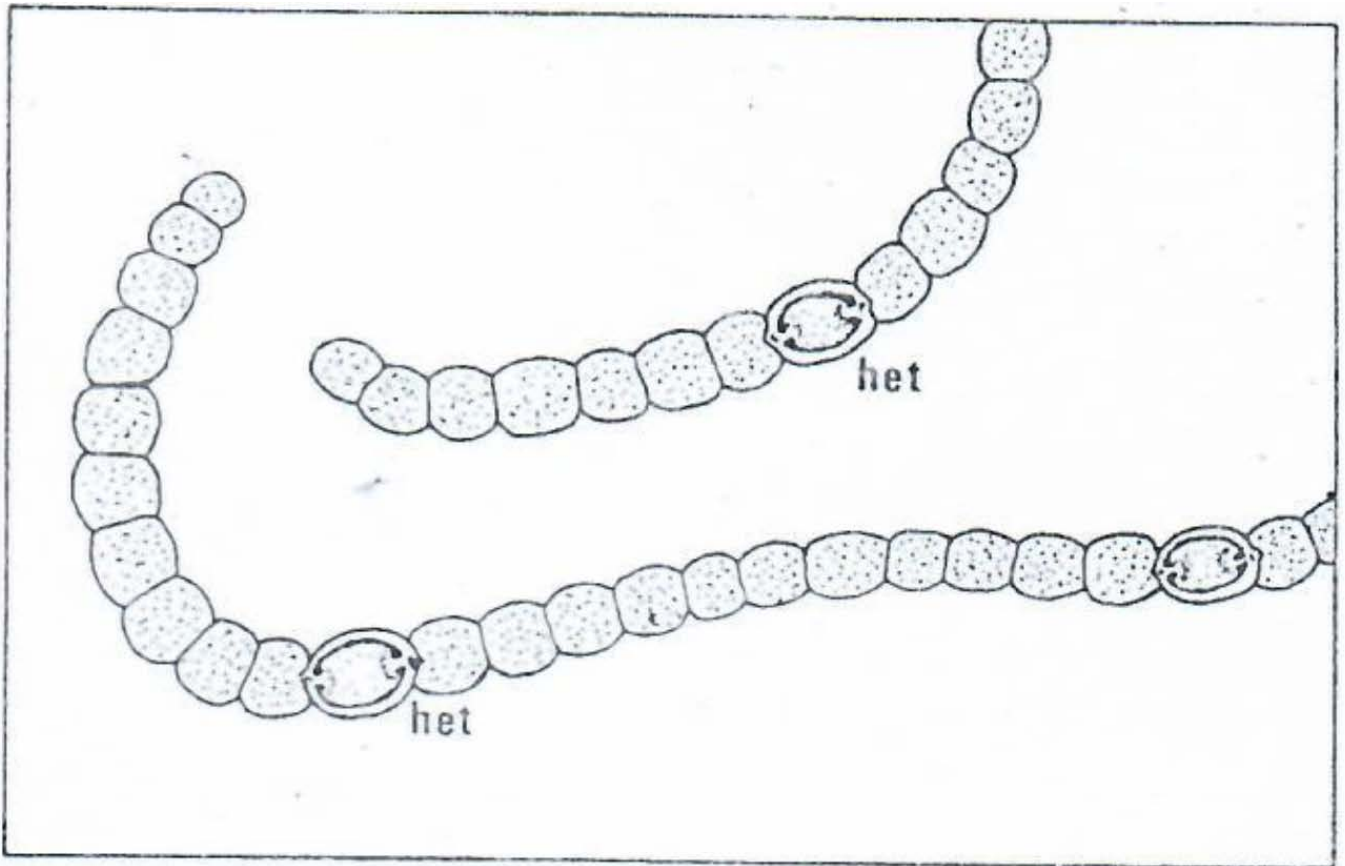


FIG. 2.6. — Fragments de filaments d'*Anabaena* pourvus d'hétérocystes (*het*).



# PLANCHE 7

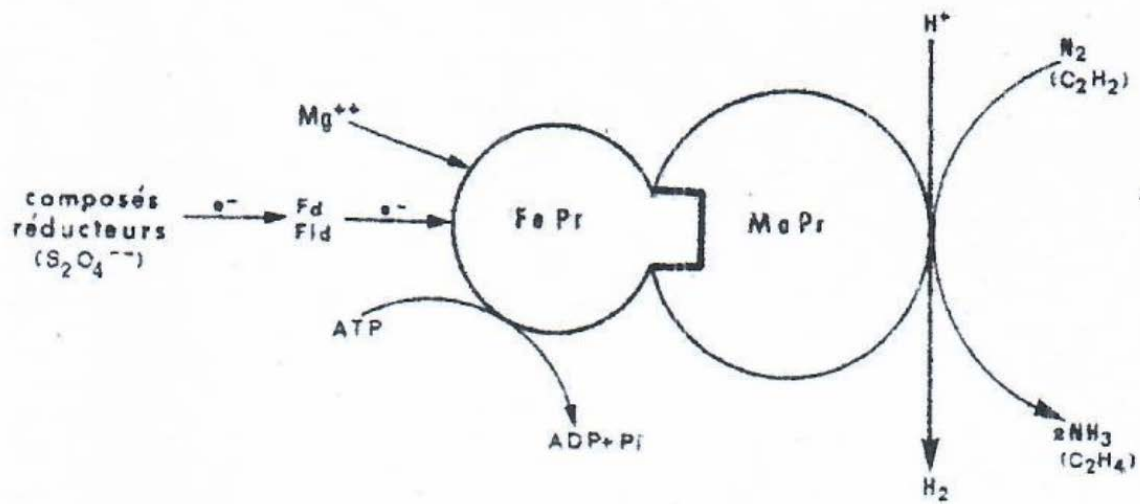


FIG. 3.1. — Schéma du mécanisme de réduction de l' $N_2$  catalysée par la nitrogénase.

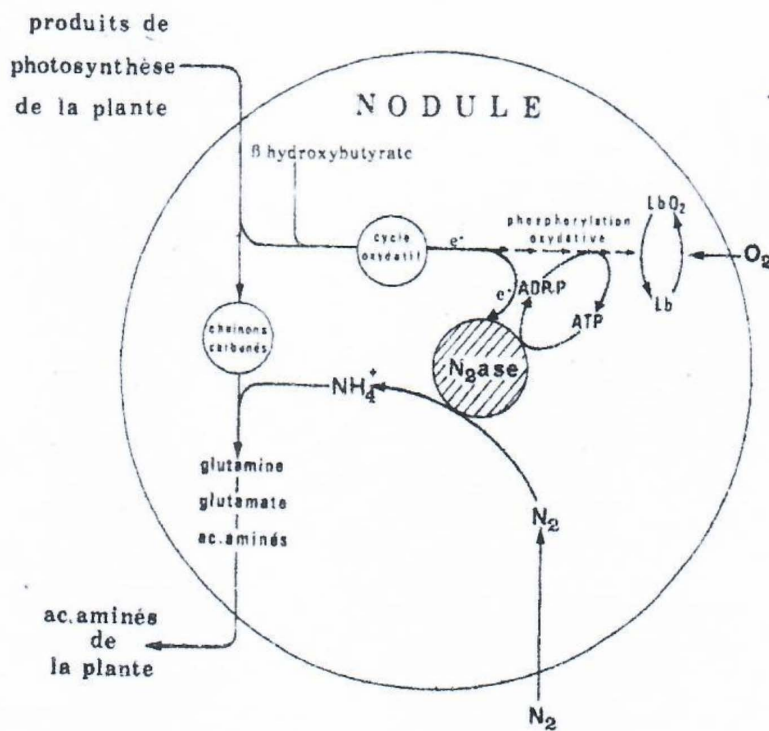


FIG. 5.14. — Schéma général simplifié de la fixation symbiotique de l'azote au niveau des nodules ( $N_2ase$  = nitrogénase ; Lb = légghémoglobine).

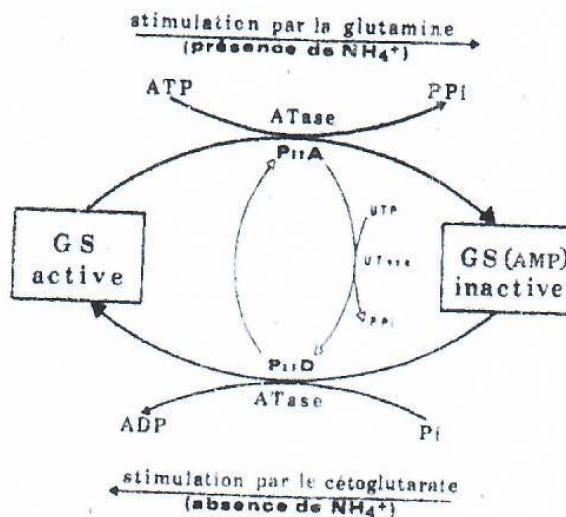


FIG. 3.13. — Mécanisme de l'adénylylation et de la désadénylylation de la glutamine synthétase.

TABLEAU II. — Propriétés des composants de la nitrogénase de quelques bactéries fixatrices

| Micro-organismes        | Composants | P.M.    | Nombre de sous-unités | Nombre d'atomes-grammes par molécule de : |         |                 |
|-------------------------|------------|---------|-----------------------|---|---------|-----------------|
|                         |            |         |                       | Mo  | Fe      | S <sup>2-</sup> |
| <i>C. pasteurianum</i>  | MoPr       | 220 000 | 2 + 2                 | 1,2                                       | 22      | 22              |
|                         | FePr       | 57 674  | 2                     | 0   | 4       | 4               |
| <i>A. vinelandii</i>    | MoPr       | 250 000 | 2 + 2                 | 2   | 27      | 33              |
|                         | FePr       | 64 000  | 2                     | 0   | 4       | 4               |
| <i>K. pneumoniae</i>    | MoPr       | 218 000 | 2 + 2                 | 1   | 17      | 17              |
|                         | FePr       | 66 800  | 2                     | 0   | 4       | 4               |
| <i>B. polymyxa</i>      | MoPr       | 215 000 | —                     | 2   | 33      | 21              |
|                         | FePr       | 55 500  | —                     | 0   | 3,2     | 3,6             |
| <i>C. autotrophicum</i> | MoPr       | 232 000 | 2 + 2                 | 2,2 <sup>c</sup>                          | 23      | 20              |
|                         | FePr       | 72 600  | 2                     | 0   | 3,8     | 2,4             |
| <i>R. lupini</i>        | MoPr       | 194 000 | 4                     | 1   | 18-20   | —               |
|                         | FePr       | 65 000  | 2                     | 0   | 3-4     | —               |
| <i>Rh. rubrum</i>       | MoPr       | 215 000 | 4                     | 2   | 25-30   | 19-22           |
|                         | FePr       | 65 000  | 2                     | 0   | 3,8-4,5 | 2,8-5,0         |

Principales références utilisées : pour *C. pasteurianum* : Huang et coll. (1971), Nakos et coll. (1973), Tanaka et coll. (1977) ; pour *A. vinelandii* : MoPr : Lundell et Howard (1978), FePr : Kleiner et coll. (1974) et d'autres ; pour *K. pneumoniae* : Eady et coll. (1972) ; pour *B. polymyxa* : Emerich et Burris (1978) ; pour *Corynebacterium autotrophicum* : Berndt et coll. (1978) ; pour *Rhizobium lupini* : Whiting et Dilworth (1974) ; pour *Rhodospirillum rubrum* : Nordlund et coll. (1978).

TABEAU III. — Complémentarité entre les composants de la nitrogénase des principales bactéries fixatrices

| Ferroprotéine                          | Molybdoprotéine |      |      |      |      |      |      |
|--|-----------------|------|------|------|------|------|------|
|  | A.v.            | A.c. | M.f. | K.p. | B.p. | C.p. | R.j. |
| <i>Azotobacter vinelandii</i> (A.v.)   | +               | 0    | 0    | +    | +    | -    | +    |
| <i>Azotobacter chroococcum</i> (A.c.)  | 0               | +    | ±    | +    | +    | 0    | 0    |
| <i>Mycobacterium flavum</i> (M.f.)     | 0               | +    | +    | +    | +    | 0    | 0    |
| <i>Klebsiella pneumoniae</i> (K.p.)    | +               | +    | +    | +    | +    | tr   | +    |
| <i>Bacillus polymyxa</i> (B.p.)        | +               | tr   | +    | +    | +    | ±    | +    |
| <i>Clostridium pasteurianum</i> (C.p.) | -               | 0    | -    | tr   | +    | +    | -    |
| <i>Rhizobium japonicum</i> (R.j.)      | +               | 0    | 0    | +    | +    | -    | +    |

*Symboles* : + : activité de 50 à 100 % ; ± : activité de 20 à 50 % ; tr : traces ; - : absence d'activité ; 0 : activité non recherchée.

Références utilisées : Biggins et coll. 1971 ; Dahlen et coll. 1969 ; Detroy et coll. 1968 ; Emerich et coll. 1978 ; Kelly 1969 ; Murphy et coll. 1971.

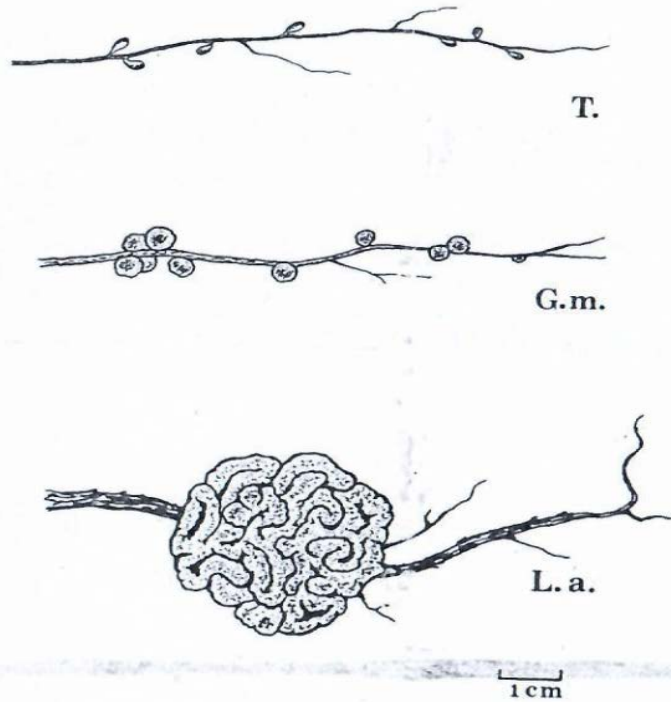


FIG. 5.3. — Nodules racinaires de trèfle (*Trifolium*), de soja (*Glycine max*), et de *Lupinus arboreus* (formation perenne).

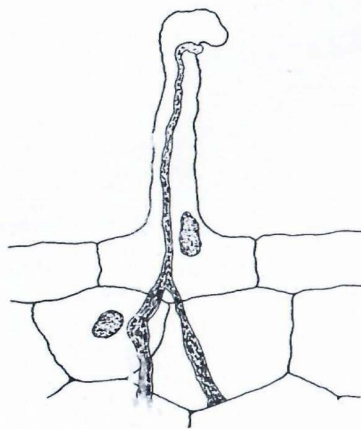


FIG. 5.1. — Formation du filament d'infection au niveau d'un poil racinaire.

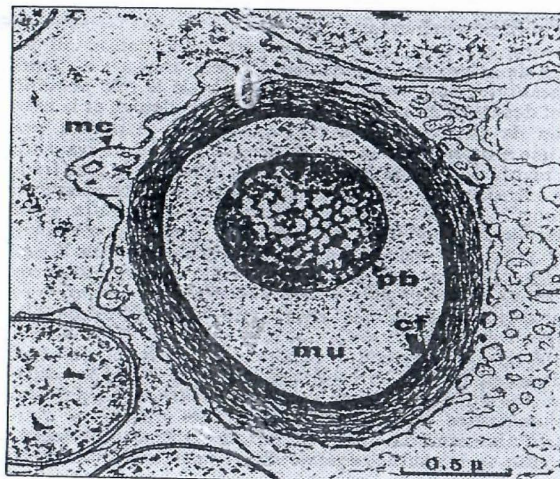


FIG. 5.2. — Section transversale d'un cordon d'infection limité par une couche fibrillaire cellulosique (cf) avec une bactérie dans le mucilage (mu) - (pb = paroi bactérienne; mc = membrane entourant le cordon infectieux). Nodule de *Trifolium repens* L. - d'après une micrographie électronique de Gouret et coll., 1974. Can. J. Microbiol., 20, 1169-1181.

# PLANCHE 11

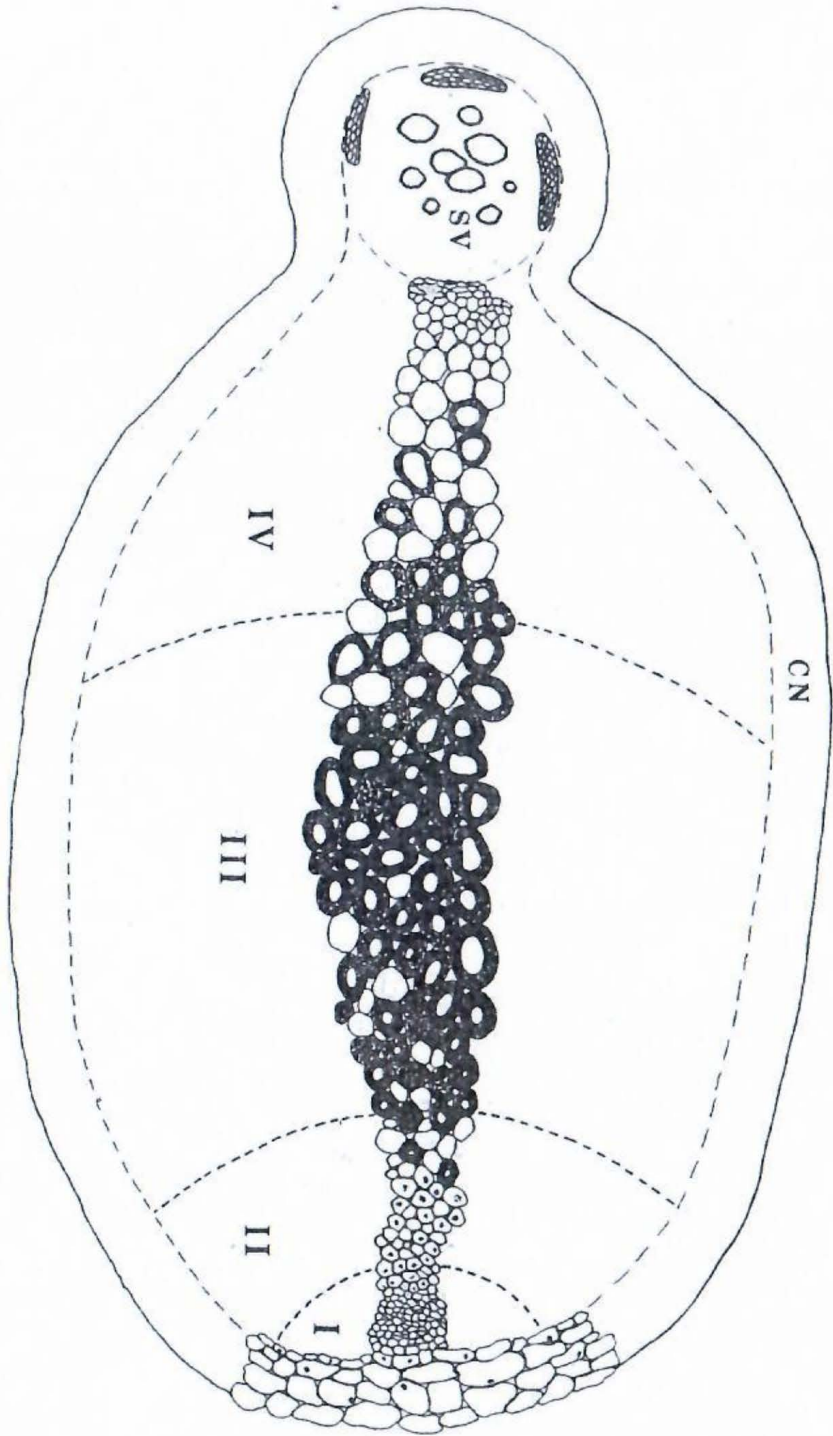


FIG. 5.7. — Schéma d'une section longitudinale d'un nodule (type pois) (CN = cortex nodulaire ; I = zone méristématique ; II = zone d'accroissement cellulaire et d'invasion ; III = zone bactérienne fixatrice ; IV = zone de dégénérescence).