

montré la nécessité de concevoir un nouvel instrument spatial.

Les chercheurs français, plus particulièrement ceux du CNES, du CNRS et de l'INRA, ont ainsi conçu un nouveau capteur ("Végétation") dont l'originalité et les performances exceptionnelles proviennent de la combinaison de la haute résolution spatiale et d'un large champ de vision (5). Cette combinaison optimale (et l'adjonction d'une bande dans le moyen infrarouge) est probablement, pour de nombreuses années encore, la seule capable de fournir aux spécialistes de l'environnement planétaire et des productions végétales, des données qui font aujourd'hui cruellement défaut.

L'instrument "Végétation" qui pourrait équiper SPOT IV en 1996 sera un outil de gestion performant, au service des hommes.

#### Liste des abréviations

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CCR	Centre Commun de Recherche (JRC) (EEC)
CEMAGREF	Centre d'Etudes du Machinisme Agricole du GREF
CIRAD	Centre Interorganisme de Recherches en Agronomie pour le Développement
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
CRPE	Centre de Recherches en Physique de l'Environnement
EEC	European Economic Community
ERS 1	Earth Resources Satellite (ESA)
ESAP	Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan (Toulouse)
FAO	Food and Agriculture Organization
GDTA	Groupement pour le Développement de la Télé-détection Aérospatiale
HAPEX	Hydrological Atmosphere Pilot Experiment
IEMVT	Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire en pays Tropicaux
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
LERTS	Laboratoire d'Etudes et de Recherches en Télé-détection Spatiale (CNES-CNRS)
MAE	Ministère des Affaires Etrangères
MCD	Ministère de la Coopération et du Développement
MRT	Ministère de la Recherche et de la Technologie
MSS	MultiSpectral Scanner (Landsat)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
TM	Thematic Mapper (Landsat)
TREES	Tropical Ecosystems Environment observations by Satellite (EEC-ESA)

- (1) **ACHARD F. et BLASCO F.** 1990 Analysis of vegetation seasonal evolution and mapping of forest cover in West Africa with the use of NOAA, AVHRR, HRPT data "Photogrammetric Engineering and Remote Sensing" 56 (10) : 1359-1365.
- (2) **BLASCO F.** 1990 - Guidelines on use of Landsat and SPOT for land use and forest change, FAO, sept. 90, 63 p. bibl. : 23 p.
- (3) **BASTOS-NETTO D. et BLASCO F.** 1989 La télédétection au service du développement. Conférence de Berlin. Fondation Allemande pour le Développement, 1/6 sept. 1986. Régions tropicales humides : 129-137.
- (4) **KERR Y.** 1992 L'expérience française Hapex-Sahel. Programme National de Télédétection Spatiale. INSU 77, avenue Denfert Rochereau 75014 Paris
- (5) **LERTS** 1992 - The "Vegetation" Instrument on board SPOT IV A mission for global monitoring of the Continental biosphere. 83 p. 18, avenue Edouard Belin, 31055 Toulouse cedex (France).
- (6) **LOUBERSAC L.** 1991 - Milieux côtiers tropicaux du Pacifique Sud : information géographique dérivée de SPOT. ICIV, Université Paul Sabatier, Toulouse, 106 p.
- (7) **MALINGREAU J.P.** 1990 - TREES : Tropical Ecosystem Environment Observation by Satellite. 10 p. CEC, Ispra, Italie.
- (8) **SCANVIC J.Y. et al.** 1991 - SPOT Remote Sensing as an aid to development : the Loess plateau, North West China. China International Symposium on geological hazards and prevention, Pékin, Oct. 1991.
- (9) **SEGUIN (B.) et al.** 1991 - The assessment of regional crop water conditions from meteorological satellite thermal infra-red data. Remote Sensing of Environment, 213 : 141-148.
- (10) **TUCKER (C.J.) et al.**, 1991 - Expansion and contraction of the Sahara desert from 1980 to 1990. Science, vol. 253, pp. 299-301.

## La fixation biologique de l'azote

**Dans de nombreux pays tropicaux, les sols sont appauvris en éléments indispensables à la croissance des végétaux, en particulier azote et phosphore, et la majorité des paysans n'ont pas les moyens financiers de compenser ces carences par des apports d'engrais minéraux. Afin de limiter la dégradation des sols et d'en relever la teneur en azote, il est possible d'utiliser des symbioses entre des végétaux supérieurs et des bactéries du genre Rhizobium pour les légumineuses et Frankia pour les non-légumineuses, qui, grâce à leur nitrogénase, transforment l'azote de l'air en ammoniac assimilable pour les plantes-hôtes.**

**Jean-Jacques Drevon**

INRA 1 place Viala 34 060 Montpellier cedex

**Bernard Dreyfus**

ORSTOM Dakar BP 1386 Dakar Sénégal

**Mamadou Gueye**

Inst. Sénégalais de Recherche Agronomique, MIRCEN

**Rachid Serraj**

Université de Marrakech

La fixation symbiotique de l'azote a lieu dans des nodosités que l'on trouve sur les racines et plus rarement sur les tiges. Sur le plan des connaissances, rappelons que les premières étapes de la formation des nodosités consistent en une déformation en crosse des poils absorbants, suivie d'une différenciation de cellules du cortex in-

terne, à l'origine du méristème nodulaire. Durant ces étapes, s'opère une reconnaissance spécifique entre le rhizobium et sa légumineuse-hôte. C'est ainsi qu'aucune déformation des poils absorbants n'est observée lorsque du soja est inoculé avec un rhizobium de luzerne et réciproquement. Les bases moléculaires de cette spécificité sont très étudiées : les gènes nod ABC sont communs à tous les rhizobiums alors que d'autres gènes comme nodII, concernent plus spécialement le spectre d'hôte. On sait, à la suite de travaux récents des laboratoires CNRS-INRA de Toulouse, que l'activité des gènes nod de R. meliloti produit un oligosaccharide sulfaté, appelé NodRm-I, capable d'induire à des concentrations inférieures à 1 nM la déformation spécifique de poils absorbants de luzerne (14).

La reconnaissance entre les partenaires de la symbiose implique aussi des gènes végétaux comme l'atteste la découverte de mutants de pois incapables de noduler avec leurs rhizobiums spécifiques, ni d'ailleurs

avec des mycorhizes qui sont des champignons symbiotiques des plantes (5). De plus, l'expression des gènes nod est induite par des flavonoïdes émis par la plante.

On connaît d'autres gènes spécifiques de la symbiose, dont la mutation provoque la formation de nodosités non fixatrices (phénotype Nod+ Fix-).

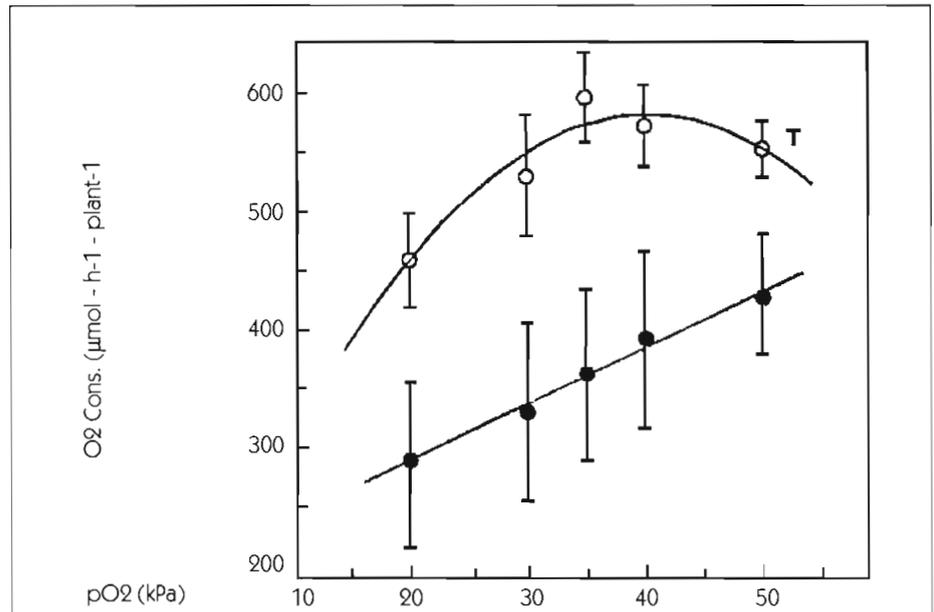
Ce sont en particulier les gènes bactériens fix LJ, impliqués dans la régulation de la synthèse de la nitrogénase, ainsi que les gènes végétaux des nodulines, protéines présentes dans la fraction végétale des nodosités mais absentes dans les autres organes de la plante. Les plus abondantes d'entre elles sont les leghémoglobines (3, 7) qui ont pour fonction essentielle de transporter l'oxygène dans les cellules infectées.

Pour améliorer la fixation symbiotique de l'azote au champ, on peut inoculer les légumineuses avec des rhizobiums particulièrement efficaces. En France on peut évaluer à quelque 200 millions F/an le bénéfice de cette pratique qui s'est développée sur soja (70 000 ha inoculés / 120 000 ha cultivés) et luzerne pérenne (40 000 ha inoculés / 700 000 ha cultivés), à la suite des travaux de l'INRA (10).

La qualité des inoculums commerciaux français, Biodoz (Lipha, Lyon) et Rhizosarb (Bioprox-Protex, Château-Renault), est garantie par une APV (autorisation provisoire de vente) délivrée par le ministère de l'Agriculture après que le produit ait été analysé par l'INRA.

Sur le plan fondamental, les spécialistes d'écologie microbienne étudient, à l'aide de marqueurs sérologiques et moléculaires, le devenir des rhizobiums ainsi introduits dans des sols français (4).

L'inoculation en PED est beaucoup moins avancée en raison d'un moindre développement des programmes de recherche, mais aussi parce que les rhizobiums spécifiques des légumineuses d'importance économique majeure sont généralement présents dans les sols tropicaux. Il en résulte un difficile problème de compétition entre ces souches natives et les souches inoculées (1). On peut cependant identifier, par enquête agronomique, des sols où la trop faible population des rhizobiums natifs se révèle être responsable d'une déficience de la fixation symbiotique et où, par conséquent, l'inoculation peut être avantageusement appliquée. Cette approche à Cuba, en coopération avec G. Hernandez (Instituto



**Figure 1** Inhibition de la diffusion intranodulaire de O<sub>2</sub> par un apport de 100mM NaCl. La consommation d'oxygène par les nodosités de soja est mesurée in-situ à l'aide d'une électrode à oxygène dans un dispositif de renouvellement permanent de l'atmosphère du milieu racinaire.

de Suelos, La Havane), a permis d'économiser 200 tN/an en inoculant 1 500 ha/an de haricot (sur 6 000 ha cultivés en fermes d'Etat) depuis 1988. Au Rwanda, grâce à 20 ans de travail continu de A. Hakizimana (ISAR, Butaré) avec l'appui du CIRAD, de l'INRA et de la FAO, 2 000 ha de soja sont inoculés chaque année en milieu paysan ; la production locale d'inoculum est faite en fermenteurs UPII fournis par le CIRAD. Au Sénégal, 200 km de dunes littorales ont été plantés avec succès en Casuarina inoculés massivement en pépinières (13).

Une autre voie d'amélioration de la fixation d'azote consiste à sélectionner des symbioses tolérantes aux facteurs édaphiques ou climatiques limitants dont les principaux sont la salinité, la sécheresse, la faible teneur des sols en phosphore assimilable, les teneurs exceptionnellement élevées en nitrates.

Ceci exige de mieux comprendre les mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués et d'identifier les gènes correspondants : synthèse d'osmoprotecteurs tels que la glycine bêtaïne chez les rhizobiums en sols salins (11) ; abaissement de la conductance nodulaire à la diffusion de O<sub>2</sub> en présence de nitrate (9), d'un déficit hydrique (8) ou d'un excès de sel (fig. 1).

On peut aussi accroître la place des légumineuses dans les systèmes de culture, comme le proposent le CIRAD et l'ORSTOM. Ainsi dans les rizières d'Asie et d'Afrique, l'enfouissement de légumineuses aquatiques à nodu-

les de tige, telles que Sesbania et Aeschynomene, permet de doubler les rendements du riz (12). Des plantations de légumineuses arborescentes, telles que des Acacias multipliés in vitro, auraient des effets similaires dans des systèmes forestiers ou agroforestiers (6).

Les connaissances et l'expérience technologique acquises par les équipes françaises dans ce domaine sont enseignées dans un cours international de 4 semaines organisé à Montpellier par l'INRA avec le concours du CIRAD, du CNRS et de l'ORSTOM.

- (1) Amarger N. et Lobreau J.P. 1982 Appl. Environ. Microbiol., 44, 583-8.
- (2) Batot J., Daveran-Mingot M.L., David M., Jacobs J., Garnerone A.M. et Kahn D. 1989 EMBO J., 8, 1279-86
- (3) Bogusz D., Llewellyn D.J., Stuart C., Dennis B.S., Appleby C. et Peacock W.J. 1990 The Plant Coll., 2, 633-41.
- (4) Brunel B., Cleyet-Marrel J.C., Normand P. et Bardin R. 1988 Appl. Environ., Microbiol., 54, 2636-42.
- (5) Duc G., Trouvelot A., Gianinazzi-Pearson V. et Gianinazzi S. (1989) Plant Science, 60, 215-22.
- (6) Galiana A., Tibok A. et Duhoux E. 1991 Plants Soil 135, 161-6.
- (7) Gallucci P., Dedieu A., Journet B.P., Huguet T. et Barker D. 1991 Plant Mol. Biol., 17, 335-49
- (8) Guérin V., Trinchant J.C. et Rigaud J. 1990 Plant Physiol., 92, 595-601.
- (9) Heckmann M.O., Drevon J.J., Saglio P. et Salsac L. 1989 Plant Physiol., 90, 224-9
- (10) Lagacherie B. et Obaton M. 1973 C.R. Acad. Agric., 67-77.
- (11) Le Rudulier D., Gloux K. et Riou N. 1991 Biochem. Biophys. Acta, 1061, 197-205.
- (12) N'doye I. et Dreyfus B. 1988 Soil Biol. Biochem. 20, 209-13
- (13) Sougoufara B., Diem H.G. et Dommergues Y.R. 1989 Plant Soil, 118, 133-7.
- (14) Truchet G., Roche P., Lerouge P., Vasse J., Camut S., De Billy F., Promé J.C. et Dénarié J. 1991 Nature, 351, 670-3.