

LA FIXATION BIOLOGIQUE DE L'AZOTE, FONDEMENT D'UNE PRODUCTION AGRICOLE SOUTENUE

Francis GANRY* et Yvon R. DOMMARGUES**

L'article de F. Ganry et de Y. R. Dommergues sur "la fixation biologique de l'azote, fondement d'une production agricole soutenue" se situe heureusement à la charnière d'une recherche agronomique de base et de l'application de la recherche à l'économie agricole.

Une recherche agronomique purement théorique, aujourd'hui, dans les pays du Sud qui ne mangent pas à leur faim en général et connaissent parfois d'épouvantables famines, serait sans intérêt si elle n'était pas en mesure de créer un espoir sérieux.

La production africaine - notamment celle des pays du Sahel - où se sont placés l'essentiel des travaux de F. Ganry et de Y. R. Dommergues, se caractérise par sa sous-productivité. Deux chiffres le soulignent. En France, la productivité des deux principales céréales blé-maïs se situe entre 80 et 100 quintaux par hectare, alors que la productivité des céréales du Sahel sorgho-mil-maïs s'établit entre 8 et 10 quintaux, 10 fois moins.

Certes, le complexe sol-climat est, pour une part importante, responsable de cette situation, mais ces pays ne sont pas condamnés à vivre dans la sous-production ; il est possible d'intervenir sur certains facteurs limitants, les uns d'ordre technique et scientifique, les autres d'ordre socio-économique, voire politique.

L'intérêt des travaux du binôme Ganry-Dommergues est d'aborder un de ces facteurs : la fertilisation minérale, non pas par la voie apparemment simple de l'apport d'engrais minéraux - trop cher pour l'économie des micro-exploitations de ces pays - mais par la fixation d'une ressource naturelle inépuisable, l'azote de l'air, azote premier facteur de la fertilisation des céréales.

Francis Ganry et Yvon Dommergues ont travaillé l'un et l'autre au Sénégal près de vingt ans, réalisant de l'amont de la recherche pour le premier, à l'aval pour le second, complémentaires donc, un exemple de recherche efficace. Avec persévérance, dans des conditions souvent difficiles, ils ont mené à bien une série de travaux dont l'article qu'ils signent n'évoque qu'une faible partie. L'emploi de technologies microbiennes modernes et de cultures de tissus leur a permis d'obtenir des résultats novateurs et d'ouvrir des voies prometteuses pour la productivité des céréales en zone sahélienne.

Mais, seuls, des résultats scientifiques de cette importance ne bouleversent pas les données actuelles d'une économie agricole de sous-subsistance. Il faut parallèlement que soient mises en œuvre, progressivement, des mesures concrètes qui s'appellent : assistance technique aux paysans pour qu'ils puissent utiliser des techniques modernes - création de réseaux de production et de diffusion de plantes sélectionnées et d'inoculum - réalisation de réseaux de stockage et de commercialisation - politique de prix des céréales.

C'est sur de tels projets que devraient se mobiliser les aides internationale et bilatérale. Les travaux scientifiques sont nécessaires pour un progrès véritable, ils ouvrent la voie ; mais ils doivent être impérativement accompagnés par les décisions des responsables politiques nationaux et mondiaux.

Francis Bour (39), ancien directeur général de l'Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières

A PARTIR DES ANNÉES 60, on est parvenu à augmenter de façon spectaculaire la production agricole dans de nombreux pays d'Asie et d'Amérique latine en introduisant des variétés sélectionnées de plantes, blé et riz essentiellement, à rendement élevé, en intensifiant les applications d'engrais, en généralisant l'emploi des pesticides et en développant l'irrigation, l'ensemble de ces pratiques étant connues du grand public sous le nom de "Révolution verte". Malgré le succès retentissant de ces pratiques, qui ont permis de mettre fin aux famines qui ravageaient certaines régions du globe, force est de constater que certaines ont eu des incidences fâcheuses sur l'environnement : pollution des nappes phréatiques, déstabilisation du régime des eaux, érosion, détérioration progressive de la fertilité y compris salinification des sols, enfin baisse de la qualité des produits agricoles. Parfois l'application des concepts de la Révolution verte a été particulièrement décevante. Les échecs de la culture mécanisée de l'arachide en Afrique de l'Ouest et de l'Est en témoignent ; il en est de même pour les introductions malheureuses d'espèces fourragères australiennes en Amérique du Sud.

Dans certains pays, tels que les pays subsahariens, ou Madagascar, sous la pression d'impératifs

* Responsable de l'Unité de Recherche Facteurs et Conditions du Milieu, CIRAD-CA, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex.

** Directeur de Recherche Emérite, CNRS, 11, rue Macarani, 06000 Nice.



1. Dans le sud du Sénégal le potentiel fixateur de N_2 du soja est élevé puisque la quantité de N_2 qu'il peut fixer dépasse 140 kg par ha et par cycle végétatif à condition qu'aucun facteur limitant n'intervienne. En vert clair les parcelles témoin ayant reçu un apport de 100 kg d'azote minéral. En vert foncé les parcelles inoculées par le *Rhizobium* spécifique ; la couleur vert foncé est corrélée avec une teneur plus élevée en azote des feuilles. Dans les conditions de cet essai, le soja répond mieux à l'inoculation qu'à la fertilisation azotée.

2. *Casuarina equisetifolia* inoculé avec sa souche de *Frankia* spécifique pousse beaucoup plus rapidement que lorsqu'il a reçu un apport de 100 kg d'azote minéral par ha : on observe ici, comme dans le cas du soja, une supériorité incontestable de l'inoculation sur la fertilisation minérale.



sociaux-économiques, l'accroissement de la production agricole a, bien souvent, été fondé sur l'exploitation minière des sols. Les conséquences de ce type d'exploitation diffèrent sensiblement de celles qui résultent de l'application

des principes de la Révolution verte, mais elles sont tout aussi néfastes. L'érosion est encore plus rapidement aggravée ; le régime des eaux (inondations) et le microclimat plus profondément perturbés. En quelques années la fertilité

s'effondre jusqu'à un point de non retour et ce, d'autant plus rapidement que les sols exploités sont plus fragiles (sols sableux).

Compte tenu de l'accroissement continu de la population dans les régions tropicales et de la nécessité d'arrêter les déboisements nécessités par la mise en culture de nouvelles terres, l'intensification de la production agricole est un objectif prioritaire. Mais on vient de voir que ni la Révolution verte ni l'exploitation minière ne constituaient des réponses absolues à ce défi. C'est pourquoi on attache désormais une importance croissante aux approches qui permettraient d'intensifier la production agricole en maintenant la fertilité pour assurer les besoins des générations futures (Poly, 1990), cette notion étant connue en anglais sous le terme de "sustainability". Etant donné que l'azote est après l'eau le facteur limitant majeur de la production végétale, il est évident que l'accroissement de la fixation biologique de l'azote de l'air (N_2) apparaît comme un moyen de choix pour assurer une productivité agricole soutenue puisque ce processus permet d'éviter au moins partiellement le recours aux engrais azotés tout en assurant la pérennité de l'approvisionnement en azote des cultures.

Notons tout d'abord que c'est essentiellement en milieu tropical que l'on peut s'attendre à un impact important des progrès réalisés dans la maîtrise de la fixation biologique de N_2 et ce, pour deux raisons majeures : une raison économique, le coût élevé des engrais azotés pour le paysan des tropiques, et une raison physiologique : les protéines alimentaires pour l'homme des tropiques sont essentiellement d'origine végétale.

Il est clair que les potentialités des deux principaux systèmes symbiotiques fixateurs de N_2 , qui sont des plantes dotées de nodules racinaires hébergeant des bactéries

fixatrices de N_2 (*Rhizobium* dans le cas des légumineuses et *Frankia* dans le cas des plantes actinorhiziennes), sont considérables (Dommergues et al., 1985) ; mais elles sont encore loin d'être exploitées à fond, qu'il s'agisse de leur contribution directe à la production agricole et animale ou de la conservation et de l'amélioration de la fertilité des sols.

Comment remédier à une telle situation ?

1. Dans le court terme, on doit recourir aux stratégies suivantes qui, la plupart du temps, doivent être utilisées **simultanément** :

a. Faciliter l'établissement des systèmes performants en faisant appel à l'inoculation (c'est-à-dire à l'infection des graines ou des racines des plantes ou bien du sol par des bactéries symbiotiques sélectionnées)

Dans certaines conditions, l'inoculation donne des résultats bien supérieurs à l'application d'une fertilisation azotée (photos 1 et 2). Mais, contrairement à l'opinion généralement répandue, on ne doit procéder à l'inoculation que dans les cas où l'on peut prévoir une réponse positive.

b. Développer l'utilisation des systèmes performants connus, mais insuffisamment exploités, en les intégrant systématiquement dans les écosystèmes agricoles ou forestiers (photo 3)

C'est en particulier le cas des arbres fixateurs de N_2 dont on commence seulement à entrevoir l'intérêt.

c. Éliminer les contraintes entravant le fonctionnement des systèmes fixateurs

Les systèmes fixateurs de N_2 , et c'est leur tendon d'Achille, sont très sensibles aux contraintes du



3. Arachide cultivée en association avec une légumineuse ligneuse, *Faidherbia albida*, au Sénégal. Ce système cultural remarquable assure une production soutenue à la fois en raison de son aptitude à fixer N_2 et aussi en raison de l'effet-arbre : protection contre l'érosion éolienne, remontée des nitrates lessivés par les pluies des horizons profonds en surface. *Faidherbia albida* ne concurrence pas l'arachide car son enracinement est profond, alors que celui de l'arachide est superficiel, et son cycle phénologique est inversé : l'arbre perd ses feuilles en saison des pluies, c'est-à-dire à l'époque où l'on cultive l'arachide.

milieu, telles que carences en phosphore ou en matière organique (photo 4), qu'il faut absolument éliminer par des pratiques culturales appropriées (Dommergues et Ganry, 1990 ; Ganry, 1992).

d. Mettre au point les modalités d'intégration des systèmes nouvellement découverts ou encore négligés

Cette mise au point peut être longue. C'est ainsi qu'en 1980 on a découvert un nouveau système fixateur de N_2 , *Sesbania rostrata* (photo 5). Cette plante, dotée à la fois de nodules racinaires et aériens, peut fixer 100 kg de N_2 en 45 jours ; c'est donc un système très puissant. Mais les modalités de son intégration dans les systèmes agricoles et ses limitations commencent seulement à être connues : à titre d'exemple pour la zone semi-aride ouest africaine, on pourra se reporter aux travaux conduits en Afrique de l'Ouest par l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA).

2. Dans le moyen terme, il est nécessaire d'**améliorer les performances des systèmes fixateurs connus**. Cette possibilité a été exploitée systématiquement depuis longtemps pour l'un des partenaires de la symbiose, la bactérie (en particulier le *Rhizobium*). Mais la sélection de l'autre partenaire, la plante hôte, en fonction de son aptitude à fixer N_2 , est plus récente. Dans le cas des espèces ligneuses la sélection clonale offre des possibilités exceptionnelles en raison de l'énorme et fréquente variabilité de ce matériel végétal. La sélection fondée sur l'utilisation de la micropropagation est relativement facile et rapide (Duhoux 1987). Bien entendu, la sélection des deux partenaires de la symbiose ne doit pas porter seulement sur l'aptitude à fixer N_2 mais aussi sur la tolérance aux contraintes de l'environnement. Dans un proche avenir les outils de la biologie moléculaire vont probablement permettre une accélération de l'amélioration des performances des plantes et de leurs symbiotes.



4. Transport de résidus de récolte en vue de leur compostage. Les composts appliqués à l'arachide augmentent très significativement la fixation de N₂ par cette plante.

3. A plus long terme, une première voie prometteuse est celle qui consiste à **obtenir des légumineuses qui, à l'instar de *Sesbania rostrata*, seraient dotées de la fois de nodules fixateurs de N₂ souterrains et aériens, ces derniers conférant au système fixateur des potentialités accrues.** On envisage aussi la construction, grâce au génie génétique, de nouveaux systèmes fixateurs de N₂ à partir de plantes non fixatrices de N₂, notamment céréales, plantes dont les exigences en azote sont considérables. Pour réaliser ces nouveaux systèmes on a imaginé deux approches : la première consistant à transférer aux céréales l'aptitude à former sur leurs racines des nodules hébergeant des *Rhizobium* ou des *Frankia*, la deuxième consistant à introduire dans le génome même de la plante l'ensemble des gènes permettant à celle-ci de fixer directement N₂. La première approche est probablement celle qui a le plus de chances d'aboutir, mais seulement dans un avenir assez lointain (Dommergues et Ganry, 1990).

Il est absolument certain que, dans la prochaine décennie, l'application rigoureuse de la

plupart des stratégies décrites ci-dessus pourrait accroître considérablement l'apport d'azote aux agrosystèmes tropicaux par les légumineuses et plantes actinorhiziennes, contribuant ainsi efficacement au maintien d'une productivité agricole soutenue sous les tropiques. On peut rai-



5. Grâce à ses nodules aériens qui forment des rangées régulières de protubérances le long des tiges, *Sesbania rostrata* est un des plus puissants systèmes fixateurs de N₂ connus.

sonnablement espérer porter la fixation de N₂ à 100 et 200 kg par ha et par cycle végétatif.

Il faut toutefois être conscient du fait que, bien que la plupart des stratégies définies ci-dessus soient déjà techniquement au point ou le seront bientôt, elles se heurtent à des obstacles sociaux-économiques, dont les deux principaux sont le manque d'information aussi bien au niveau des utilisateurs qu'à celui des décideurs, et l'absence de structures de production d'inoculums et de plantes sélectionnées (notamment sous forme de clones d'espèces ligneuses d'élite).

Bibliographie

- Dommergues Y., Dreyfus B. et Diem H.G., 1985. Fixation de l'azote en agriculture tropicale. *La Recherche*, 22-31.
- Dommergues Y. et Ganry F., 1990. Comment accroître l'apport d'azote par fixation biologique ? In *Actes de Rencontres Internationales. Savanes d'Afrique, terres fertiles ?* (Ministère de la Coopération et du Développement et Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, CIRAD) La Documentation Française, Paris, p. 357-370.
- Duhoux E., 1987. Les arbres fixateurs d'azote atmosphérique : sélection des plantes hôtes et multiplication végétative *in vitro*. In *Les arbres fixateurs d'azote*. Actes des Séminaires 17-25 mars 1986, Dakar, ORSTOM, Paris, p. 88-93.
- Ganry F., 1992. Rôle de la fixation de l'azote par l'arachide dans l'amélioration durable de la fertilité azotée d'un sol sableux tropical par l'amendement calcaïque et organique. In *Biological Nitrogen Fixation and Sustainability of Tropical Agriculture* (K. Mulongoy et al. eds.) John Wiley, Chichester, p. 439-450.
- Poly J., 1990. Les jeux des rencontres. In *Actes de Rencontres Internationales. Savanes d'Afrique, terres fertiles ?* (Ministère de la Coopération et du Développement et Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, CIRAD) La Documentation Française, Paris, p. 13-14.