

Bilan et perspectives

Le constat de la dégradation quasi irréversible des écosystèmes au nord et au sud du Sahara est bien établi. Les causes relèvent, d'une part, de changements climatiques défavorables et, d'autre part, de l'anthropisation croissante. La régénération des terres dégradées s'avère nécessaire pour le maintien des activités humaines en milieu rural, car la végétation spontanée de ces régions constitue la base de l'alimentation des troupeaux, la principale source d'énergie et le fonds de reconstitution des systèmes agroforestiers.

De grands programmes de reboisement ont été mis en œuvre pour lutter contre la dégradation des terres. Ceux-ci ont bien souvent abouti à des échecs, en raison de l'inadaptation à l'aridité et au faible niveau de fertilité des zones d'introduction des espèces exotiques à croissance rapide utilisées. De plus, ces systèmes « construits », non stables et non reproductibles, posent des problèmes de gestion. Face à de tels échecs, les programmes de recherche sur la réhabilitation des terres en zone aride se sont orientés vers la mise en place de systèmes complexes (pluristrates) visant une meilleure stabilité et une plus grande résilience, pour réduire les risques affectant la production des espaces pastoraux et agroforestiers.

Le recours à des espèces autochtones généralement plus adaptées au milieu et largement connues et utilisées par les populations locales devient à cet égard une nécessité. Parmi celles-ci, les légumineuses arborescentes et herbacées pérennes offrent un intérêt particulier, car leur double capacité à réduire le dioxyde de carbone et l'azote atmosphérique en fait des modèles de choix dans les programmes de restauration d'écosystèmes et de développement durable. Cependant, la mise en œuvre de telles options se heurte, d'une part,

à la méconnaissance relative de ces espèces et, d'autre part, à la nécessité d'identifier, de caractériser et de modéliser les interactions complexes et dynamiques au sein des écosystèmes recherchés. Cela implique également la pluridisciplinarité de la recherche.

Le modèle retenu dans cet ouvrage est *Acacia tortilis* subsp. *raddiana*, une des 155 espèces spontanées du genre *Acacia* en Afrique, en raison notamment de sa large répartition, de ses capacités de résistance à la sécheresse et de fixation de l'azote, et de ses multiples usages traditionnels.

Différentes spécialités relevant de l'écologie, l'écophysiologie, la génétique, la microbiologie, l'entomologie et la foresterie se sont associées pour préciser la taxonomie et la répartition géographique de cette sous-espèce, pour analyser la diversité aussi bien de la plante hôte que des micro-organismes qui lui sont associés, pour caractériser son fonctionnement et les interactions en milieu naturel en réponse aux facteurs eau et azote, et réunir les éléments nécessaires à son utilisation dans les opérations de réhabilitation.

Avant de suggérer quelques orientations de recherche découlant des travaux présentés ici, nous rappellerons les principaux résultats obtenus.

Acacia raddiana

Cette sous-espèce s'étend entre les latitudes 5° et 32° nord ; elle possède une aire péri-saharienne et moyen-orientale. Elle est caractérisée par une grande plasticité écologique puisqu'elle colonise les régions recevant entre 50 et 1 000 mm de précipitations annuelles et situées du niveau de la mer jusqu'à une altitude de 2 100 m. Les populations de ce taxon présentent une grande variabilité génétique, expliquée en partie par la polyploïdie rencontrée. Cette plante peut être classée parmi les espèces à haut potentiel fixateur d'azote mais à faible rendement.

Elle est largement utilisée par les populations locales comme plante médicinale, fourrage, bois d'énergie, charbon en raison du pouvoir calorifique élevé de son bois. Ce dernier est aussi apprécié dans l'artisanat pour la confection d'outils et d'ustensiles divers. C'est une plante qui sert à tanner les peaux et sa gomme est consommée. Elle est aussi utilisée pour la stabilisation et la fertilité des sols. Cette plante joue donc un rôle important dans l'économie rurale.

Caractères adaptatifs à l'aridité

Les résultats soulignent la remarquable capacité d'adaptation d'*Acacia raddiana* qui survit, croît et se développe dans ses zones de prédilection malgré de fortes demandes évaporatives et des précipitations limitées. Cette adaptation est à mettre en relation avec une consommation en eau particulièrement faible et une certaine optimisation du rapport assimilation de CO₂/transpiration. La consommation annuelle d'*Acacia raddiana*, évaluée dans le nord du Sénégal, est seulement de 66 mm, ce qui représente 44 % des précipitations annuelles et 3 % de l'ETP_{Penman}, quand on rapporte le flux à la surface du xylème conducteur à l'hectare.

On doit relever que la phénologie explique 90 % de la variation décadaire du flux transpiratoire normalisé par l'ETP, phénologie qui, malgré une grande variabilité intersite et intra-population, semble être, pour le nord du Sénégal tout au moins, en étroite relation avec les réserves hydriques du sol, si l'on excepte l'installation du feuillage qui résulterait d'un ajustement osmotique.

Les micro-organismes associés et le métabolisme azoté

Les études relatives à la diversité taxonomique et aux propriétés symbiotiques des rhizobia nodulant *Acacia raddiana* ont révélé la grande diversité taxonomique des isolats, qui contraste avec la grande homogénéité des caractères symbiotiques majeurs et de structure des « facteurs nod », qui constituent de bons indicateurs du potentiel de nodulation d'un rhizobium donné.

Dans la symbiose légumineuse-bactérie, le facteur susceptible d'entraver la nodulation et la fixation d'azote n'est généralement pas l'absence de souches bactériennes efficaces, mais un ou plusieurs facteurs écologiques qui en limitent l'efficacité. Cela a conduit à préciser la résistance aux stress thermique, salin et hydrique des souches de bactéries nodulantes isolées des sols de Tunisie et du Sénégal. Les souches se sont avérées hautement résistantes à la température (40 °C, voire 45 °C), à la salinité (1 % de NaCl pour les souches tunisiennes et jusqu'à 2 % pour les souches sénégalaises) et au stress hydrique (- 1,8 MPa). Dans l'ensemble, les souches étaient, à potentiel hydrique équivalent, plus résistantes au stress hydrique que salin.

Le pouvoir fixateur d'azote élevé reconnu à ce taxon est à mettre en relation avec la présence de nodules abondants pendant la saison des pluies, à proximité du tronc (2-3 m) et entre 25 et 75 cm de profondeur *in natura*. Pour le Sahel sénégalais, l'humidité volumique du sol varie de 4 à 11 % durant cette période. L'infection mycorhizienne est quant à elle fortement réduite dans les milieux érodés.

Effet rhizosphérique et interactions ligneux-herbacées

Malgré la faiblesse générale de l'activité biochimique et microbiologique des sols en relation avec les conditions d'aridité et de pauvreté édaphique (faible teneur en matière organique, en nutriments, déficit en eau...), presque tous les paramètres suivis dans les sols ont été modifiés par la présence du système racinaire d'*Acacia raddiana*, ce qui démontre un effet rhizosphérique. Celui-ci varie en fonction d'un certain nombre de paramètres tels que la distance au tronc, l'âge du peuplement et les conditions trophiques stationnelles. Ces résultats mettent en exergue le rôle primordial de l'arbre dans l'amélioration des conditions nutritionnelles, en constituant des îlots de fertilité dans les milieux aride et semi-aride. L'arbre, et dans notre cas *Acacia raddiana*, favorise le développement de la strate herbacée, qui se traduit par une augmentation de la richesse floristique, de la production et du stock en bioéléments de la strate herbacée sous couvert ligneux.

Techniques agroforestières

Les connaissances accumulées sur les parasites des semences, leurs propriétés germinatives ainsi que les techniques de production de plants et d'entretien des plantations rendent possible l'utilisation de ce taxon dans les systèmes de plantations à haute et faible technicité.

Comportement nord- et sud-saharien

Les résultats ont montré qu'il n'y a aucune liaison apparente entre la position taxonomique et l'origine géographique des souches de rhizobia qui présentent par ailleurs une grande homogénéité des caractéristiques symbiotiques majeures. Notons cependant que les souches sénégalaises paraissent plus résistantes à la salinité.

Il apparaît aussi que l'infection mycorhizienne est similaire pour les deux provenances (nord et sud) d'*Acacia*.

L'activité métabolique des micro-organismes des sols tunisiens est en revanche largement supérieure à celle des sols sénégalais.

Pour ce qui concerne le régime hydrique des formations au nord et au sud du Sahara, il a été démontré que si les disponibilités hydriques sont limitées dans le temps, elles sont plus élevées dans les horizons supérieurs dans la station tunisienne, ce qui favorise un enracinement superficiel. Elles sont élevées dans les horizons profonds pour les stations sénégalaises étudiées. Cette stratification particulière des stocks d'eau dans le sol explique en grande partie le calage du cycle phénologique sur la saison des pluies au Sénégal. En Tunisie, *Acacia raddiana* garde un rythme tropical, en réalisant l'essentiel de son cycle en été.

Il est entendu que les travaux présentés dans cet ouvrage ne prétendent nullement à l'exhaustivité. Il reste encore beaucoup à découvrir de ce taxon dont la diversité, la plasticité et les multiples adaptations écologiques sont remarquables. Rappelons brièvement les nombreuses orientations suggérées dans les différentes contributions.

Perspectives

Pour ce qui concerne les micro-organismes, il y a lieu de valider les différents groupes de souches de *Rhizobia* nodulant *Acacia raddiana* par des techniques phylogénétiques afin de préciser leur position taxonomique et de proposer d'éventuelles conclusions nomenclaturales. Il est par ailleurs utile d'améliorer les connaissances sur la diversité et l'écologie des champignons mycorhiziens arbusculaires des sols pour sélectionner les plus performants comme *inoculum*. La diversité des coléoptères séminivores parasitant *Acacia raddiana* suscite des questions sur la spécialisation trophique et écologique des bruchidées, l'identification des mécanismes de défense des acacias et la caractérisation de la co-évolution des insectes et de la plante hôte.

Sur le plan fonctionnel, il s'est avéré nécessaire de préciser les liens entre transpiration et phénologie, car cette relation ouvre une voie à la prévision de

la transpiration. Il a aussi été rappelé la nécessité d'augmenter le rendement du potentiel fixateur d'azote d'*Acacia raddiana* par la sélection de provenances, de descendances ayant un rendement élevé. L'utilisation de clones pourrait grandement aider cette sélection. Il est vrai que l'étude génétique de cette espèce est rendue difficile par son caractère polyploïde, d'où la nécessité d'enrichir les modèles génétiques adaptés à l'interprétation des marqueurs au niveau tétraploïde. La contribution de la génétique devrait aussi s'orienter vers l'amélioration des connaissances de l'impact des pratiques humaines sur la dynamique de la diversité génétique de cette sous-espèce. La connaissance des conséquences des pratiques passées et présentes sur l'état actuel de la diversité génétique devrait permettre de mieux évaluer son devenir face aux perturbations liées aux changements climatiques et à l'accroissement démographique.

La restauration des peuplements d'*Acacia raddiana* nécessite encore d'étudier les techniques appropriées, soit pour la réinstallation d'écosystèmes détruits, soit pour la densification de peuplements clairsemés. Les intérêts de telles formations végétales sont multiples, en particulier pour la conservation de la biodiversité *sensu lato* : végétale, animale et fonctionnelle.

M. GROUZIS et E. LE FLOC'H