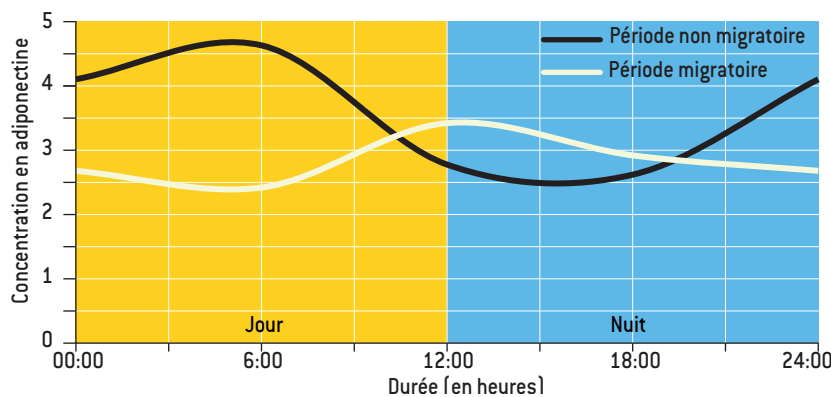




7. LA CONCENTRATION DE L'HORMONE ADIPONECTINE, qui favorise l'utilisation du glucose et des acides gras, fluctue de façon périodique. Lors de la migration, les fluctuations se modifient, le maximum se produisant pendant la nuit.

BIBLIOGRAPHIE

F. Bairlein *et al.*, Cross-hemisphere migration of a 25 g songbird, *Biology Letters*, vol. 8, pp. 505-507, 2012.

G. Beauchamp, Why migrate during the day, *Journal of Evolutionary Biology*, vol. 24, pp. 1969-1974, 2011.

C. Guglielmo, Move that fatty acid: Fuel selection and transport in migratory birds and bats, *Integrative and Comparative Biology*, vol. 50, pp. 336-345, 2010.

T. Fuchs *et al.*, Daytime micro-naps in a nocturnal migrant: An EEG analysis, *Biology Letters*, vol. 5, pp. 77-80, 2009.

J. Weber, The physiology of long-distance migration: Extending the limits of endurance metabolism, *Journal of Experimental Biology*, vol. 212, pp. 593-597, 2009.

P. A. Bartell et E. Gwinner, A separate circadian oscillator controls nocturnal migratory restlessness in the songbird *Sylvia borin*, *Journal of Biological Rhythms*, vol. 20, pp. 538-549, 2005.

migration. Des études complémentaires sont nécessaires pour mieux les comprendre.

Si les oiseaux migrent la nuit et se nourrissent le jour, ils dorment probablement très rarement. Pourtant, la migration est exigeante sur les plans physique et cognitif: les oiseaux naviguent dans l'obscurité sur des milliers de kilomètres et rencontrent chaque jour de nouveaux territoires, sur lesquels ils doivent trouver de la nourriture et éviter les prédateurs. Notre homme d'affaires imaginaire, pédalant la nuit pour faire voler son avion et sollicitant son cerveau le jour pour le travail de bureau, souffrirait d'un grave handicap cognitif après deux jours de ce régime. Les oiseaux semblent bien plus résistants...

Les connaissances sur la durée, le moment et les modalités du sommeil des oiseaux migrateurs sont encore imprécises, mais elles progressent. De nombreux oiseaux peuvent ne dormir que d'un hémisphère cérébral: une moitié du cerveau est endormie, tandis que l'autre reste éveillée, de sorte que l'animal peut maintenir une activité physique partielle. Les oiseaux migrateurs utilisent peut-être cette tactique en vol; sans doute trouvent-ils plutôt le temps de faire des sommes pendant la journée; ou peut-être ont-ils une capacité unique à supporter le manque de sommeil.

Deux tiers de sommeil en moins

Cette dernière hypothèse semble proche de la réalité chez les bruants à couronne blanche (*Zonotrichia leucophrys*). En 2004, Niels Rattenborg, de l'Université du Wisconsin, et ses collègues ont mesuré le sommeil d'oiseaux en captivité et constaté qu'ils

passaient 63 pour cent moins de temps à dormir en période de migration. Les oiseaux ne compensaient pas le manque de sommeil par une augmentation de son intensité et ne dormaient pas pendant la journée. Pourtant, leurs performances à un test cognitif évaluant leur capacité d'apprentissage n'ont pas diminué. Des humains soumis à une privation de sommeil équivalente obtiennent des résultats médiocres à ce genre de tests, de même que les bruants non migrateurs.

Ainsi, selon qu'ils sont ou non en période de migration, les oiseaux résistent bien ou mal au manque de sommeil. On ignore les mécanismes sous-jacents, mais leur étude aiderait peut-être à améliorer les fonctions cognitives des personnes subissant des veilles prolongées, tels les soldats et les pilotes.

Dans cette étude, les éthologues n'ont pas constaté de sommeil diurne ni unihémisphérique. Cependant, l'équipe de Verner Bingman, à l'Université d'État de Bowling Green, a observé ces deux comportements en laboratoire chez un autre oiseau migrateur, la grive à dos olive (*Catharus ustulatus*). Ce passereau effectue des micro-sommes d'une durée de 12 secondes environ. De courtes périodes de sommeil diurne permettraient une certaine récupération sans empiéter sur la recherche de nourriture, ni trop s'exposer aux prédateurs.

Les oiseaux migrateurs semblent défier les règles de la physiologie. Ils deviennent obèses, mais sont des athlètes d'élite; ils dorment à peine et pourtant leur cerveau et leur corps sont au meilleur de leur forme. Leurs traits comportementaux et physiologiques ressemblent à ceux d'une des phases du trouble bipolaire, nommée manie, qui apparaît souvent de façon saisonnière: hyperactivité, fixation sur un but, peu de sommeil, intensification du métabolisme, augmentation des concentrations en hormones du stress...

Quoi qu'il en soit, la migration s'accompagne d'adaptations physiologiques et comportementales complexes et déconcertantes. Même si nous sommes loin de les comprendre parfaitement, nous avons au moins découvert un facteur commun: des horloges biologiques interviennent presque partout. Peut-être pourrions-nous en tirer une leçon et, plutôt que de résister à nos rythmes naturels quotidiens et saisonniers, vivre à la cadence de nos horloges biologiques. ■

SciLogs

La nouvelle communauté de
blogueurs scientifiques francophones

Grâce à **Scilogs.fr**, dialoguez avec des chercheurs et acteurs du monde des sciences aux points de vue riches et variés. De blog en blog, explorez la science avec ceux qui la font, la décryptent, l'analysent : résultats de recherche, applications pratiques, perspectives insolites, débats éthiques et politiques... Pour vivre la science au quotidien !

Signal sur bruit

Richard Taillet
Astrophysicien,
professeur
chercheur
au LAPTh

Ecoblog

Vincent Devictor
Chercheur au CNRS
en écologie et biologie
de la conservation

Best of Bestioles

Loïc Mangin
Rédacteur en chef
adjoint
Pour la Science

Complexités

Jean-Paul Delahaye
Mathématicien, informaticien,
et auteur de la rubrique
Logique et calcul
dans *Pour la Science*

Retrouvez
aussi les autres
communautés
« SciLogs » : déjà
plus 140 blogueurs
scientifiques
à l'international !

Psycho Info

Jérôme Palazzolo
Médecin psychiatre, à Nice
et à l'Université Internationale
Senghor, à Alexandrie,
en Égypte

L'actu sur le divan

Sébastien Bohler
Rédacteur
à *Cerveau & Psycho*

Alterscience

Alexandre Moatti
Polytechnicien, chercheur
en histoire des sciences
au laboratoire SPHERE



Connectez-vous
maintenant
pour découvrir
www.Scilogs.fr !



Suivez les dernières actualités
des blogueurs également
sur les réseaux sociaux

Proposé par **POUR LA
SCIENCE**

La Grande Muraille verte

René Bally et Robin Duponnois

Le projet de la Grande Muraille verte vise à implanter ou à stabiliser une bande végétale en bordure du Sahara à travers tout le continent africain, afin d'endiguer la progression du désert vers le Sud.

La désertification se caractérise par un appauvrissement drastique des sols, souvent enclenché par leur surexploitation agricole. Elle conduit à l'abandon des terres cultivées, que le vent, la pluie et d'autres phénomènes naturels achèvent de rendre stériles, en supprimant la couche superficielle fertile.

Selon le Comité scientifique français de la désertification, dix millions d'hectares de terres arables sont remplacés par le désert chaque année dans le monde. Le phénomène menace une partie de l'Afrique, de l'Amérique du Sud et de l'Asie. Dans les pays riches, telle l'Australie, les agriculteurs ont les moyens d'endiguer la progression du désert, notamment *via* une irrigation contrôlée. Quelque 70 pour cent des terres arides ou semi-arides (qui représentent 41 pour cent de la superficie des continents) sont concernés et 480 millions de personnes risquent de devoir quitter leurs terres ou changer de mode de vie.

L'Afrique est particulièrement touchée. Selon certains experts, elle a perdu environ 650 000 kilomètres carrés de terres productives depuis 50 ans, soit l'équivalent d'un territoire grand comme la

L'ESSENTIEL

■ La désertification menace 480 millions d'hommes dont les terres agricoles s'appauvrissent.

■ La Grande Muraille verte doit être constituée d'une bande de forêts et de cultures en bordure du Sahara.

■ Au sein de cette bande, on cherche à augmenter la productivité des systèmes agricoles et à prévenir l'abandon des terres.

■ Seul le Sénégal a commencé la mise en œuvre de la Grande Muraille verte, mais des projets sont prévus au Mali et au Burkina Faso dès 2014.

France. Depuis les années 1900, le désert du Sahara aurait progressé par endroits de 250 kilomètres vers le Sud. Dès lors, la lutte contre la désertification constitue une priorité pour l'Union africaine, qui la traite dans le programme NEPAD (Nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique), et pour la Communauté des États sahélo-sahariens.

Malheureusement, ces organisations n'ont pas réussi à enrayer le phénomène, d'où la nécessité d'une nouvelle stratégie globale. C'est dans ce contexte qu'a été proposée en 2005 l'Initiative africaine de la Grande Muraille verte (IAGMV): il s'agit d'édifier un rempart végétal, large de 15 kilomètres, qui traverserait le continent et stopperait l'avancée du Sahara vers le Sud. Ce rempart transcontinental relierait le Sénégal à l'Éthiopie, passerait par 11 pays et couvrirait une distance de 7 000 kilomètres (voir la figure 1). Il comprendrait des forêts (des plantations massives d'arbres sont prévues), mais aussi des cultures. Une grande partie du projet consiste à préserver de l'abandon les cultures déjà en place et qui sont menacées par la désertification, en amé-



© Image NASA-MODIS, traitement Claire Miralis-Sore, CESBIO, Toulouse

1. LA GRANDE MURAILLE VERTE devrait traverser l'Afrique d'Est en Ouest, en passant par 11 pays *(en vert, le tracé prévu)*. Sa longueur serait de 7 000 kilomètres, pour une largeur de 15 kilomètres.

liorant leur productivité. Dans ce cadre, on cherche à développer et à diffuser de nouvelles techniques compatibles avec les pratiques et les savoir-faire traditionnels. Après une brève présentation des actions qui ont précédé cette initiative, nous décrirons plus en détail le projet de Grande Muraille verte.

Plusieurs décennies d'efforts infructueux

Depuis quelques décennies, la plupart des pays du Sahel ont consenti des efforts techniques, financiers et institutionnels importants. L'objectif était d'assurer la sécurité alimentaire de leurs populations (ainsi que la sécurité énergétique, *via* la production de bois de chauffage) et d'améliorer les conditions de vie des agriculteurs, tout en préservant la biodiversité. Cela s'est traduit par une diversification agricole, par la mise en place de bassins de rétention des eaux pluviales et par des actions contre la désertification et contre la dégradation des sols arables. Par exemple, on a mis en place des murets en terre en forme de demi-lunes sur les pentes érodées par des



© Axel Ducournau, Ingénieur CNRS, CHM Tresselt, Sénégal

2. UNE PÉPINIÈRE D'ACACIAS, dans la région de Tessékéré, au Nord du Sénégal (à gauche). Les arbres y sont cultivés en pots pendant quatre mois, avant d'être replantés dans le milieu naturel (à droite).

pluies violentes : ces structures retiennent la terre et constituent des réservoirs d'eau. On y concentre parfois les fertilisants, tels les excréments d'animaux, afin de ne pas disperser les ressources.

Certaines pratiques agricoles traditionnelles ont aussi été encouragées, telles que le mulch (couverture du sol par des ressources organiques, par exemple des résidus de culture) ou le zaï. Ce dernier consiste à creuser des microbassins d'environ un mètre de diamètre dans le champ et à y planter les graines (voir la figure 4). L'eau de pluie s'y concentre et des fertilisants organiques y sont répandus. En stimulant l'activité biologique dans les « points chauds » des bassins, le zaï permet de reconstituer les propriétés hydrophysiques des sols dégradés (stabilité, porosité, etc.) et d'optimiser la productivité de l'agrosystème. Il nécessite cependant un important travail du sol et n'est donc intéressant que lorsque les précipitations sont faibles, inférieures à 300 millimètres par an.

Malgré leur promotion, ces pratiques restent peu répandues, principalement en raison du manque de ressources organiques. En effet, dans les régions arides, les résidus de culture servent surtout au fourrage destiné à l'élevage.

Globalement, les diverses initiatives n'ont pas donné les résultats escomptés. De nombreuses contraintes, essentiellement financières, limitent le développement de

La Grande Muraille verte en chiffres :

Le Sénégal avance rapidement dans la mise en place de la Grande Muraille verte. De 2008 à 2010 :

13 pépinières créées
7 750 000 plants d'arbres produits
16 225 hectares de plantations forestières réalisées
4 540 kilomètres de pare-feu creusés

la plupart des pays sahéliens. Ce constat a conduit à l'adoption de nouveaux projets, tel celui de la Grande Muraille verte. Proposé lors du septième Sommet des chefs d'État et de gouvernement de la Communauté des États saharo-sahéliens, qui s'est tenu les 1^{er} et 2 juin 2005 à Ouagadougou, au Burkina Faso, ce projet a été approuvé deux ans plus tard par l'Union africaine. Il a d'abord été présenté comme une simple bande forestière, large de 15 kilomètres, qui traverserait le continent. Un certain scepticisme en a résulté, car cette conception de la lutte contre la désertification allait à l'encontre des acquis scientifiques et techniques.

La leçon des remparts verts d'Algérie et de Chine

En effet, des expériences sur des plantations arboricoles continues avaient déjà été tentées, mais elles avaient rencontré des problèmes. Ainsi, le projet du Barrage vert algérien, lancé dans les années 1970, visait à mettre en place une barrière végétale pour stopper l'avancée du désert vers le Nord. Elle devait être large de 20 à 30 kilomètres et s'étendre sur trois millions d'hectares, de la frontière Est du pays jusqu'à sa frontière Ouest. Or les premières plantations, qui comprenaient uniquement des pins d'Alep, ont été détruites en grande partie

par des chenilles processionnaires. De façon générale, les monocultures sont plus vulnérables aux infections et aux insectes. À cela s'ajoutaient d'autres facteurs, telle la pression du pastoralisme : les troupeaux qui traversaient les plantations détruisaient les jeunes pousses. En conséquence, seuls 160 000 hectares ont été reboisés pour l'instant, soit cinq pour cent de l'objectif initial. L'édification du Barrage vert algérien se poursuit, mais elle se fonde désormais sur plusieurs espèces d'arbres.

Un projet similaire se déroule en Asie, avec la Grande Muraille verte de Chine. L'objectif est d'entourer le désert de Gobi d'une ceinture végétale, afin d'endiguer sa progression et de protéger les villes adjacentes des vents de sable. Comme en Algérie, une seule espèce a été utilisée initialement (un arbre exotique d'Australie), avant que les plantations ne se diversifient. Démarré en 1978, ce projet ne s'achèvera que dans plusieurs dizaines d'années, le coût prévu étant d'environ un milliard d'euros. Quelque 18 pour cent de la ceinture sont aujourd'hui réalisés, et représentent déjà la plus grande forêt artificielle du monde.

Un plan de développement complet

Fort de ces expériences, le projet de la Grande Muraille verte n'a pas consisté en une monoculture continue, mais en un plan de développement complet d'une bande de territoire. Ce plan comprend la plantation d'espèces végétales présentant un intérêt économique et adaptées à la sécheresse, ainsi que la mise en place de systèmes agroforestiers (des associations d'arbres et de cultures). Il inclut aussi la réalisation de bassins de rétention, le développement d'autres activités économiques (artisanat, sculpture du bois, etc.) et l'amélioration de la gouvernance locale et des services socio-économiques.

La diffusion des bonnes pratiques s'appuie sur un réseau de Pôles ruraux de développement (PRD), composés de représentants du projet (fonctionnaires, ingénieurs, etc.) qui organisent des formations et des ateliers. De la sorte, on espère endiguer la fuite des populations qui conduit à l'abandon des terres et à la désertification. Selon un rapport de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (une organisation internationale visant notamment à lutter contre la désertifica-

LES AUTEURS



René BALLY est directeur de recherche au Laboratoire d'écologie microbienne (UMR 5557, Université de Lyon, CNRS).

Robin DUPONNOIS est directeur de recherche au Laboratoire des symbioses tropicales et méditerranéennes (IRD, UMR 113).

BIBLIOGRAPHIE

G. Boëtsch (dir.), *La Grande Muraille Verte, des arbres contre le désert*, Éditions Privat, 2013.

A. Dia et R. Duponnois, *La Grande Muraille Verte : Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux*, Éditions IRD, 2012.

A. Dia et R. Duponnois, *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : concepts et mise en œuvre*, Éditions IRD, 2010.

Collectif, *Les bénéfices de la gestion durable des terres*, WOCAT-UNCCD, 2009.

Collectif, *Initiative Grande Muraille Verte du Sahara et du Sahel. Note introductive n° 3*, Observatoire du Sahara et du Sahel, 2008.

tion) daté de 2008 : « La Grande Muraille verte n'est pas conçue comme un mur d'arbres courant de part et d'autre du désert, mais plutôt comme un ensemble d'actions et d'interventions multisectorielles de conservation et de protection des ressources naturelles à des fins de lutte contre la pauvreté. »

Les plantations d'arbres sont tout de même un élément essentiel de ce plan. En effet, l'arbre est un acteur majeur dans le bon fonctionnement des sols. Il est essentiel aux mouvements hydriques (de l'eau dans le sol) et aux principaux cycles géochimiques (la circulation des nutriments, tels que le carbone, le phosphore et l'azote), qui régissent durablement la fertilité des sols. Un acacia haut de deux mètres, par exemple, plonge ses racines jusqu'à quatre mètres de profondeur, ce qui fait remonter de l'eau. Celle-ci passe dans l'atmosphère par un phénomène dit d'évapotranspiration. Les racines captent également les nutriments, utilisés pour produire des feuilles qui fertilisent les sols quand elles tombent. Le guano répandu par les oiseaux qui se perchent sur les arbres est un autre fertilisant. En outre, les arbres favorisent le développement de nombreux micro-organismes utiles aux cultures.

Trois principales espèces d'arbres locaux ont été choisies pour la Grande Muraille verte : l'acacia gommier (*Acacia senegal*), le dattier du désert (*Balanites aegyptiaca*) et le jujubier (*Ziziphus mauritiana*). La gomme de l'acacia est utilisée notamment pour l'alimentation, comme matériau de construction et comme additif dans les textiles.



3. LES TROUPEAUX D'ANIMAUX DOMESTIQUES font courir des risques aux plantations, car ils consomment les jeunes pousses. La prise en compte des rivalités entre éleveurs et cultivateurs est essentielle à la réussite de la Grande Muraille verte.



© Etimond Hien, Université de Ouagadougou

4. LE ZAÏ EST UNE PRATIQUE TRADITIONNELLE consistant à creuser de petits bassins, où se concentrent l'eau et les fertilisants. Il pourrait être combiné avec les techniques promues dans le cadre de la Grande Muraille verte.

Le dattier du désert a aussi de multiples usages : pharmacologiques pour les feuilles et l'écorce (qui traite la diarrhée), alimentaires (les fruits sont comestibles et donnent du jus et de la crème). Quant au jujubier, il produit des fruits comestibles.

Pour l'instant, le Sénégal est le seul pays qui a commencé la mise en place de la Grande Muraille verte. Il a créé des pépinières forestières, où les arbres sont cultivés en pots pendant quatre mois avant d'être plantés dans la nature. Entre 2008 et 2010, près de huit millions de plants ont été produits, plus de 16 000 hectares de forêt plantés et plus de 4 500 kilomètres de pare-feu creusés (les chiffres postérieurs à 2010 ne sont pas disponibles, mais le projet s'est poursuivi à un rythme comparable). En outre, des jardins ont été installés autour des villages, afin d'améliorer les revenus des populations locales. Des produits à haute valeur ajoutée, notamment maraîchers, y

sont cultivés par des femmes. Le projet a été long à mettre en place, en particulier au niveau institutionnel, et les événements récents, tels que la guerre au Mali, l'ont ralenti, mais il devrait s'accélérer dans les prochaines années.

Une autre difficulté est que les arbres n'atteignent leur maturité qu'au bout de 20 à 30 ans et ne commencent à avoir un effet sur les écosystèmes que dix ans après leur plantation (rappelons que les premiers arbres de la Grande Muraille verte ont été plantés en 2008). Il faut donc que les populations locales les protègent et les entretiennent pendant leur développement.

De multiples recherches visent à accélérer ce développement – nous y reviendrons.

En 2009, l'Institut Écologie et environnement du CNRS a créé un Observatoire hommes-milieus (OHMi) à Tésékéré, au Nord-Est du Sénégal, en collaboration avec plusieurs organismes. Il regroupe des laboratoires du CNRS et de l'IRD, ainsi que des universités du Sénégal et du Burkina Faso. Il mène des recherches dans plusieurs domaines, aussi bien biologiques qu'écologiques, culturels, sociaux, sanitaires et climatiques, afin d'analyser et d'optimiser la mise en place de la Grande Muraille verte.

En foresterie, par exemple, on cherche à améliorer la production de plants dans les pépinières, au travers de l'étude de graines de provenances diverses (certaines poussent plus vite et donnent des arbres plus grands, qui produisent plus de graines), de différents substrats (mélanges divers de sable et de matière organique) et de récipients variés (influence de la forme et du volume du pot sur la croissance de l'arbre). Nous avons par exemple breveté une technique consistant à réduire en poudre des termitières mortes et à les mélanger à la terre ; cette source de matière organique favorise la croissance des arbres.

Gérer les rivalités entre éleveurs et cultivateurs

Un autre domaine de recherche clef est la modélisation des systèmes socio-écologiques, afin d'aboutir à une meilleure gouvernance. Les rivalités entre éleveurs et cultivateurs sont l'un des paramètres critiques pour la réussite de la Grande Muraille verte, comme l'a montré le cas algérien. Diverses solutions sont appliquées pour que ces rivalités ne soient pas rédhitoires : des couloirs sont aménagés pour le passage des troupeaux, les périodes des passages sont adaptées afin de ne pas nuire aux cultures, etc.

Dans le domaine sanitaire, on vérifie par exemple que la mise en place de gros réservoirs d'eau ne favorise pas une pullulation d'insectes vecteurs de maladies dans les villages environnants. En termes de biodiversité, un programme vise à recenser les espèces d'oiseaux présentes et à suivre leur évolution à mesure que la Grande Muraille verte progresse et que les paysages se transforment. On cherche aussi à évaluer l'éventuel impact de la muraille sur le climat.

LE BRÉSIL ESPÈRE S'INSPIRER
de certains projets pour lutter
contre la désertification qui menace
les régions arides du Nord-Est du pays.

■ À ÉCOUTER

Jeudi 19 décembre, Robin Duponnois reviendra sur la lutte contre la désertification dans l'émission **La marche des sciences**, sur France Culture de 14h à 15h.
www.franceculture.fr

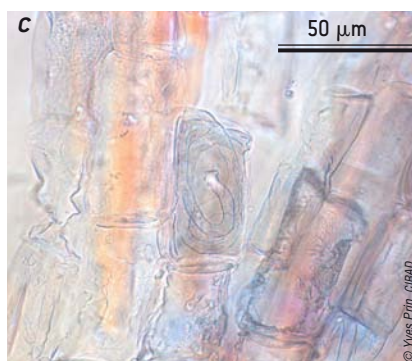
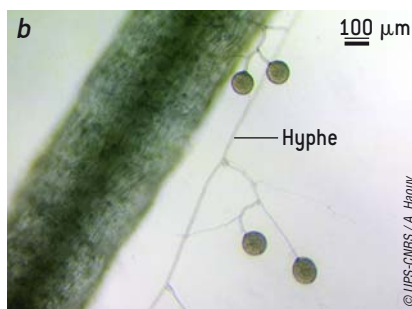
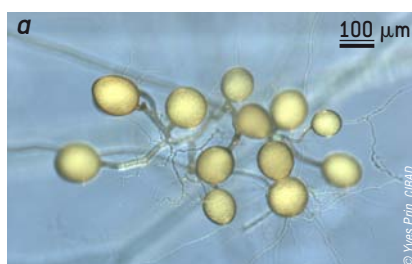


De nombreuses études concernent les micro-organismes naturellement présents dans les sols, qui pourraient se révéler des auxiliaires précieux pour la mise en place de la Grande Muraille verte. Certains favorisent l'absorption de minéraux par les plantes et d'autres neutralisent les pathogènes ou les parasites. Dans ce domaine, des résultats potentiellement utiles dorment dans les laboratoires, parfois depuis plusieurs dizaines d'années, et n'ont jamais été exploités à grande échelle. L'un des objectifs de la structure constituée des Pôles ruraux de développement et de l'Observatoire hommes-milieu est de transférer les acquis de la recherche aux agriculteurs. À titre d'illustration, examinons le cas des champignons mycorhiziens, qui favorisent la nutrition des plantes cultivées, et celui des biopesticides utilisables contre les plantes phytoparasites du genre *Striga*.

Des champignons pour réhabiliter les sols

Les champignons mycorhiziens sont des organismes microscopiques du sol très vulnérables à la désertification. Ils vivent en symbiose avec les racines de certaines plantes. Ce sont des éléments clés du fonctionnement du sol, en particulier dans les milieux arides et semi-arides. Ils sont impliqués dans les principaux cycles biogéochimiques assurant la fertilité des sols, tels ceux du phosphore, de l'azote et du carbone. La symbiose mycorhizienne accélère notablement la croissance de la plante, à laquelle les champignons fournissent des ressources minérales (voir la figure 5). En outre, ils fabriquent des substances toxiques pour les pathogènes.

On a longtemps considéré que l'impact du champignon sur le développement de la plante résultait uniquement des interactions des deux composantes de la symbiose (la plante et le champignon). On sait aujourd'hui que la symbiose modifie l'exsudat racinaire (un liquide excrété par les racines), influant ainsi sur l'abondance et la diversité de la microflore du sol qui s'en nourrit. À proximité des racines, voire à l'intérieur des cellules végétales, se développe une population microbienne spécifique, nommée mycorrhizosphère. Celle-ci inclut des bactéries fixatrices d'azote, notamment du genre *Azospirillum* : ces bactéries établissent des endosymbioses (des symbioses où l'un des deux organismes



5. LES CHAMPIGNONS MYCORHIZIENS (a) sont des micro-organismes du sol qui établissent des symbioses avec les plantes. Ils favorisent leur croissance [d, à gauche : plants de quatre mois sans champignons ; à droite : plants de quatre mois avec champignons], notamment en leur fournissant de l'eau et des minéraux, qu'ils collectent via de longs filaments, les hyphes (b, des spores connectées par des hyphes). Certains de ces filaments (c, en bleu) pénètrent dans les cellules des racines, avec lesquelles ils assurent divers échanges. En retour, la plante alimente le champignon en matière organique.

est contenu dans l'autre) racinaires avec la plante, dont elles favorisent la croissance. Les plantes concernées sont par exemple les légumineuses (trèfles, fèves, lentilles, etc.) ou certains arbres, tels les aulnes.

Des pratiques culturales favorisant les symbioses mycorhiziennes seraient un atout pour la gestion durable des terres, car elles optimiseraient la croissance des plantes sans appauvrir les sols. Elles permettraient de résoudre un paradoxe apparent : les plantes manquent de phosphore, ce qui est l'un des principaux facteurs limitant leur croissance, et pourtant cet élément abonde dans le sol de ces régions. Le problème est qu'il est surtout présent sous forme de complexes chimiques insolubles, tel du phosphate d'aluminium ou de fer, que les plantes ne parviennent pas à exploiter. Les champignons mycorhiziens, eux, en sont capables, grâce à divers mécanismes : ils peuvent par exemple acidifier le sol en libérant des protons (H^+) ou des acides organiques, ce qui leur permet de dissoudre les complexes chimiques et d'en extraire le phosphore. Ils le transmettent ensuite à la plante, via leurs longs filaments qui pénètrent dans les cellules végétales.

Plusieurs techniques culturales assez simples, mais hélas peu répandues, sont possibles. On peut par exemple semer des plantes dites hypermycotrophes, telles des légumineuses, qui établissent facilement la symbiose et favorisent la multiplication du champignon dans le sol. Le sol s'enrichit ainsi durablement en propagules fongiques (les spores, à partir desquelles croissent de nouveaux champignons) qui bénéficieront aux cultures. En milieu naturel, les plantes hypermycotrophes sont les premières à s'implanter lors de la reconstitution d'un couvert forestier.

Autre possibilité : la diffusion massive de champignons sur le sol en une fois. On peut aussi adopter une stratégie combinée avec les pratiques culturales traditionnelles, tel le zaï. On concentrerait alors les micro-organismes dans les cuvettes où sont plantés les arbres ou les plantes cultivées, ce qui diminuerait les quantités nécessaires.

Dans le cadre des pépinières, on mélange des racines colonisées par des champignons à la terre du pot. Cette technique a été utilisée pour la première fois dans la Grande Muraille verte en juin 2012 sur des jujubiers. Après les quatre mois de culture en pots, ils étaient bien plus grands que des arbres cultivés sans champignons (voir la figure 5). Au bout d'un an, leur taille restait très supérieure et