

par limiter les plantations monospécifiques au bénéfice de plantations variées, combinant des essences aux traits de vie différents. Par exemple, dans les régions tempérées, il est possible de planter ensemble des arbres à feuillage caduc ou persistant, des résineux et des feuillus ou encore des espèces dont le système racinaire exploite des profondeurs différentes du sol. Il faut aussi étaler la réalisation de la plantation sur plusieurs années de façon à limiter au maximum le caractère régulier de celle-ci pour favoriser une structure plus complexe de cette plantation. Il est important de restreindre l'usage systématique d'espèces exotiques au profit d'espèces locales. Il peut être néanmoins intéressant d'étendre la sélection à des espèces venant d'une région un peu plus étendue. Ces espèces, en restant géographiquement proches, sont susceptibles d'être mieux adaptées au changement climatique sans pour autant être invasives et préjudiciables à l'équilibre des écosystèmes locaux.

UNE INDUSTRIE DU BOIS DURABLE

Toujours en vue d'une exploitation industrielle, il est important de ne pas négliger le sol et de veiller au mieux à sa préservation. Par exemple, le passage de gros engins en perturbe durablement la structure et la biodiversité, avec pour conséquence sa fragilisation et sa disparition. L'utilisation d'intrants (engrais, désherbants) doit aussi être bannie dans la mesure où on veut tendre vers la mise en place d'un fonctionnement biogéochimique autonome de l'écosystème.

La réflexion est aussi à mener à l'autre bout de la chaîne industrielle. Il faut mettre une priorité sur l'utilisation du bois issu des plantations pour fabriquer des objets à longue durée de vie. Le stockage de carbone est alors plus efficace en termes de durée: la construction ou encore l'immobilier en bois permettent un usage plus résilient que la pâte à papier ou la production d'objets à courte durée de vie tels les couverts en carton. Des plantations destinées à la production de produits à durée de vie plus importante permettront alors de planifier des cycles de récolte plus durables.

Les exemples du passé le confirment, la plantation d'arbres massive et irréfléchie est désastreuse pour la biodiversité et le climat. À l'inverse, la reforestation planifiée de zones déboisées a clairement montré ses bénéfices. L'expertise acquise par les chercheurs dans ce domaine peut servir l'industrie. Elle permet l'identification d'espèces natives adaptées aux besoins des plantations industrielles, à la production industrielle de leur semis, à l'évaluation de leur productivité en plantations plurispécifiques et à leur compétitivité commerciale par rapport aux espèces exotiques. Au Costa Rica,

La plantation d'arbres en ville crée des îlots de fraîcheur capables d'améliorer le microclimat local

le Cirad et le Catie étudient des stratégies en vue d'une exploitation industrielle du bois (ou bois d'œuvre). Ces organismes évaluent actuellement la proportion d'espèces à bois d'œuvre (*Cordia alliodora*, *Trichospermum mexicanum*, *Xylopia frutescens*, *Heliocarpus appendiculatus* et *Schizolobium parahyba*, etc.) dans des forêts secondaires au Costa Rica et au Nicaragua. Augmenter la production de bois d'œuvre dans ces forêts secondaires est une façon d'augmenter leur persistance dans le temps (et donc la réussite du projet de reforestation) et en même temps de réduire la pression sur les forêts primaires.

D'autres activités, qui ne sont pas à proprement parler de la reforestation car elles n'ont pas pour objectif de restaurer des forêts, bénéficient aussi de cette expertise. Par exemple, l'agroforesterie (voir l'encadré page ci-contre) associe notamment des cultures diverses et des arbres. Des équipes du Cirad travaillent par exemple sur des plantations mixtes qui associent des espèces commerciales et des légumineuses au Brésil et au Congo. Grâce à leur fixation d'azote atmosphérique, les légumineuses permettent une fertilisation naturelle du sol et la réduction des apports d'engrais azotés.

Enfin, l'expertise de la reforestation s'invite depuis quelques années dans un milieu inattendu: les villes. Face au réchauffement climatique et aux projections de hausse marquée de température en milieu urbain, les spécialistes de la reforestation apportent encore une fois des éléments de réflexion. En 2020, par exemple, Anju Lis Kurian, de l'université Mahatma-Gandhi, au Kerala, en Inde, a montré que la plantation d'arbres en ville crée des îlots de fraîcheur capables d'améliorer le microclimat local. Climat, urbanisme, industrie et biodiversité, la reforestation, quand elle est menée de façon raisonnée, a fait ses preuves et il est donc urgent de l'utiliser comme levier dans tous ces domaines. ■

BIBLIOGRAPHIE

Climate change mitigation and adaptation in agriculture: Why agroforestry should be part of the solution, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 24 août 2021.

T. Gauquelin, **Des arbres et des forêts**, L'Harmattan, 2021.

P. Sist (dir.), **Vivre avec les forêts tropicales**, Museo-Cirad, 2021.

M. A. Ngo Bieng et al. (dir.), **Active restoration of timber production and other ecosystem services in secondary and degraded forests**, *Forest Ecology and Management*, vol. 493, 2021.

J. W. Veldman et al., **Comment on « The global tree restoration potential »**, *Science*, vol. 366, n° 6463, 18 octobre 2019.

L'ESSENTIEL

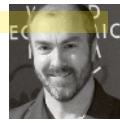
> Les turbulences atmosphériques limitent le pouvoir de résolution des télescopes au sol.

> Pour corriger ces effets, les observatoires sont équipés de systèmes d'optique adaptative. Ceux-ci compensent en temps réel ces turbulences en déformant la surface d'un miroir dans le télescope.

> L'optique adaptative pourrait maintenant servir à suivre les débris en orbite autour de la Terre, voire à les dévier pour éviter certaines collisions catastrophiques.

> La cryptographie quantique pourrait aussi en bénéficier, grâce à une focalisation plus précise des lasers vers les satellites de télécommunication.

LES AUTEURS



TONY TRAVOULLON
maître de conférences en astronomie et instrumentation spatiale à l'Université nationale australienne, à Canberra



CÉLINE D'ORGEVILLE
professeure en instrumentation pour l'astronomie et le domaine spatial à l'Université nationale australienne



FRANCIS BENNET
maître de conférences en instrumentation optique à l'Université nationale australienne

L'optique adaptative, au-delà des étoiles

En équipant leurs télescopes d'un système qui corrige les perturbations dues aux turbulences atmosphériques, les astronomes sont capables de scruter le ciel avec une netteté exceptionnelle. Cette technique pourrait aussi servir à la lutte contre les déchets spatiaux et à la cryptographie quantique.

Tout le monde apprécie un bon tour de magie. C'est le genre de spectacle auquel assistent les astronomes quand ils «ferment la boucle de correction» du système d'optique adaptative qui équipe certains télescopes. L'image d'un objet cosmique, initialement floue, devient alors très nette et riche en nouveaux détails. Grâce à cette technique, les instruments d'observation compensent les perturbations causées par les turbulences de l'atmosphère. Cet outil a été une révolution dans le domaine de l'astronomie.

En 2020, notre équipe de l'Université nationale australienne, à Canberra, a fermé la boucle d'un système d'optique adaptative avec un objectif très différent. Il n'était pas question de scruter les détails d'un astre, mais ceux de débris spatiaux ! Dans la salle de contrôle de l'observatoire du mont Stromlo, qui surplombe la ville, nous avons sélectionné, pour notre premier essai, un satellite météorologique. Sa silhouette caractéristique avec un corps large et de grands panneaux solaires en faisait une cible facile, idéale pour évaluer les performances de notre dispositif.

Pour certains d'entre nous, c'était la première fois qu'ils utilisaient un télescope pour observer autre chose qu'une étoile, une galaxie ou tout autre phénomène cosmique. Notre cible est l'un des milliers d'objets fabriqués par l'homme et mis en orbite autour de la planète. Or avec un essaim d'engins spatiaux (certains actifs, la plupart non) toujours croissant, les risques d'encombrer les orbites terrestres basses sont de plus en plus grands. Comment résoudre le problème des déchets spatiaux et préserver ces orbites pour des utilisations futures ? Au cours des trente dernières années, les systèmes d'optique adaptative ont gagné en performance et les astronomes se sont alors rendu compte qu'ils pouvaient mettre à contribution leur expertise dans des projets de développement et de construction de systèmes de gestion des déchets spatiaux. Notre test s'inscrivait dans cette démarche.

AUX PRISES AVEC L'ATMOSPHÈRE

La couche gazeuse qui entoure la Terre nous permet d'y vivre, mais, pour les astronomes, elle est surtout une source de perturbations qui dégrade la qualité des observations.