

Quoi qu'il en soit, les résultats sont là. Qui plus est, H. Reich avec *MinutePhysics* et, tout dernièrement, *MinuteEarth* consacré aux sciences de la Terre, n'est pas un cas isolé. On peut citer, pour les mathématiques, en lien avec la musique, Victoria Hart (www.youtube.com/user/Vihart), qui se définit comme une « Recreational Mathematician » (une mathématicienne de loisir). Toujours la même présentation sur un rythme rapide avec des démonstrations, des schémas, de petits moyens et, par exemple, 1,5 million de visualisations sur la suite de Fibonacci et les plantes. C'est un régal à nos yeux, et *a fortiori* pour des yeux qui ne passent pas leur temps à faire de la science.

V. Hart et H. Reich viennent de rejoindre l'équipe de la *Kahn Academy* (<https://www.khanacademy.org/>).

Il s'agit d'un site d'enseignement en ligne dont la devise est « A free world-class education for anyone anywhere » (une instruction gratuite et de niveau international pour chacun et partout) et qui affiche en ligne plus de 4 000 vidéos, dont certaines sont sous-titrées en français ou en d'autres langues. Elles durent une dizaine de minutes et sont réalisées dans le même esprit graphique, sur tous les sujets académiques.

Avec ses 234 millions de visualisations sur *Youtube* à ce jour, la *Kahn Academy* a dépassé le *MIT OpenCourseWare* (tenu par l'Institut de technologie du Massachusetts), l'une des stars de l'enseignement universitaire numérique avec des milliers de cours en ligne et autour de 50 millions de visiteurs (dont nous évidemment).

L'enseignement des sciences doit évoluer et va changer en profondeur. H. Reich, V. Hart ou Salman Kahn ont ouvert la voie. À nous, chercheurs et enseignants, de nous y engouffrer, surtout en France ! Mais pas seuls : c'est en travaillant avec des graphistes, des designers ou même des artistes que nous pourrions, tous ensemble, donner à voir autrement la physique – ainsi que d'autres champs du savoir – et réconcilier le public avec la science d'aujourd'hui. ■

Joël CHEVRIER est professeur de physique à l'Université Joseph-Fourier, à Grenoble.

Julien BOBROFF est professeur de physique à l'Université Paris-Sud, à Orsay.



Réagissez en direct à cet article sur www.pourlascience.fr

DÉVELOPPEMENT DURABLE

S'aider du vivant pour restaurer les écosystèmes

Selon les objectifs fixés à la conférence de Nagoya, au Japon, 15 pour cent des écosystèmes dégradés doivent être restaurés d'ici 2020. Pour éviter les pollutions liées aux travaux de génie civil, on développe des techniques fondées sur le vivant.

Thierry DUTOIT

Les écosystèmes rendent de nombreux services à l'homme : production de nourriture, d'énergie et de matériaux ; recyclage des matières organiques ; régulation du cycle de l'eau... En outre, ils assurent un équilibre macro-écologique global, notamment à travers leur influence sur les flux de certains éléments, tel le carbone. Or nombre d'écosystèmes sont déstabilisés par le changement climatique et par les modifications rapides d'usage des terres, liées notamment à l'urbanisation et à l'intensification de l'agriculture. Ils franchissent alors un seuil d'irréversibilité, c'est-à-dire

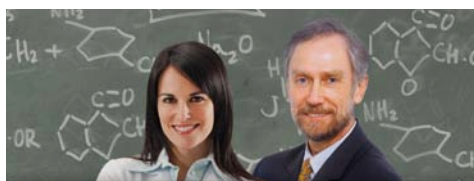
qu'ils deviennent incapables de se régénérer naturellement sur des échelles de temps humaines.

À la fin du XX^e siècle, de nombreux biologistes ont signalé que les écosystèmes ne pourront bientôt plus remplir leurs rôles si l'on se contente de mesures de protection : il faut aussi restaurer ceux qui ont été dégradés. En 2010, la conférence mondiale sur la biodiversité de Nagoya, au Japon, a fixé un objectif ambitieux : d'ici 2020, au moins 15 pour cent des écosystèmes dégradés doivent être restaurés.

De nombreux travaux concernent les zones humides (marais, rivières, mangroves,

etc.), qui ont une biodiversité riche et une grande valeur économique et sociale. La restauration d'un écosystème passe par plusieurs étapes : un diagnostic aussi précis que possible de l'état de dégradation ; le pilotage des processus biologiques aux différents niveaux d'organisation du vivant (du gène au paysage), afin de reconstituer l'écosystème dit de référence ; enfin, l'évaluation à court et long termes des opérations menées.

On ne connaît jamais parfaitement le fonctionnement d'un écosystème, où interagissent de multiples espèces et facteurs environnementaux, parfois depuis très longtemps. Reconstituer son état passé exact est



→ www.pourlascience.fr/emplois

Connectez-vous au service
d'offres d'emplois scientifiques sur

POUR LA
SCIENCE

en partenariat avec
naturejobs



- Chaque semaine, plus de **8000 offres d'emploi** dans le secteur des sciences.
- En un clic la **sélection des postes à pourvoir en France** et dans les pays francophones ou voisins.
- Une équipe Naturejobs spécialisée, **au service des recruteurs francophones**.
Contact : Muriel Lestringuez
E-mail : m.lestringuez@nature.com
Tél. : +44 20 7843 4994

POUR LA
SCIENCE.fr

Le site de référence
de l'actualité scientifique

donc illusoire. La plupart des opérations engagées se limitent alors à réhabiliter quelques fonctions ou composantes de l'écosystème – par exemple, planter des végétaux sur les pentes de montagnes exposées au vent pour lutter contre l'érosion. Lorsqu'il n'est plus possible de se rapprocher de l'écosystème préexistant, on en crée parfois de nouveaux : c'est le cas quand on aménage un lac en milieu urbain ou industriel.

Les travaux de restauration ont un coût environnemental, car ils font souvent appel à des techniques de génie civil, polluantes et consommatrices de ressources non renouvelables (énergies fossiles), par exemple pour amener de la terre avec des camions. D'où l'intérêt de développer des techniques d'« ingénierie écologique » fondées sur le vivant lui-même, dont on exploite les propriétés (auto-organisation, complexité, adaptabilité).

Tous les règnes du vivant sont réquisitionnés. Des plantes, dont les racines absorbent certains métaux lourds, peuvent dépolluer les eaux (phyto-épuration) ou les sols (phyto-extraction). L'ancien site minier de Saint-Laurent, dans le Gard, est ainsi dépollué grâce à la plante herbacée *Anthyllis vulneraria*, qui accumule bien le zinc. À résultats égaux, le coût économique et environnemental est bien moindre qu'avec des techniques physico-chimiques. Les plantes servent aussi à construire des berges végétales, stabilisées par leurs racines et qui remplacent les berges artificielles. On réhabilite ainsi des écosystèmes aquatiques variés.

Certains champignons et bactéries fixateurs de minéraux, qui vivent en symbiose avec des plantes, sont parfois utilisés : ils aident ces plantes à recoloniser les sols pauvres. On se sert également d'animaux, telles des abeilles domestiques (qui fécondent les fleurs dans les vergers et les serres quand les pesticides ont éradiqué les pollinisateurs naturels), ou des fourmis, des termites et des vers de terre.

Nous avons ainsi mis à contribution des fourmis pour restaurer la végétation steppe de la plaine de la Crau, dans le département des Bouches-du-Rhône, à la suite d'une

grosse fuite d'hydrocarbures en 2009. Les techniques de génie civil classiques (transfert de sols, semis) ont permis de réintroduire les espèces végétales détruites, mais pas de réparer la structure de la végétation. Cette structure était essentiellement dessinée par l'activité de certaines espèces implantées depuis longtemps dans la région, en particulier des fourmis moissonneuses (*Messor barbarus*) : ces fourmis rapportent au nid et consomment des graines de 70 pour cent des espèces végétales présentes. Nombre de ces graines sont abandonnées le long des pistes et dans des dépotoirs à l'entrée des

DANS LA PLAINE DE LA CRAU, des fourmis effectuent une importante redistribution de graines et structurent ainsi la végétation.

nids, pour des raisons mal connues. Un nid mature abritant jusqu'à 20 000 individus et la densité étant d'un nid tous les 100 mètres carrés, les fourmis effectuent une importante redistribution de graines.

À l'automne 2011, des reines fécondées ont été prélevées après les vols nuptiaux (des millions d'entre elles jonchaient alors le sol) et installées dans de petits trous sur le site. Chaque trou était ensuite recouvert d'un galet, qui protégeait la reine de la prédation par les araignées ou les scolopendres et chauffait l'intérieur, en restituant la chaleur solaire accumulée en surface. Un an plus tard, une reine sur deux a produit des ouvrières. On estime cependant qu'il faudra entre cinq et dix ans pour obtenir des résultats significatifs sur la végétation.

Les organismes vivants deviennent ainsi les ingénieurs des écosystèmes. Cependant, leur utilisation peut entraîner des effets secondaires indésirables, telles des invasions biologiques. Elle doit donc être précédée d'études scientifiques évaluant leur impact, pour éviter que le remède soit pire que le mal. ■

Thierry DUTOIT est directeur de recherche à l'Université d'Avignon (UMR CNRS-IRD IMBE) et conseiller scientifique pour l'ingénierie écologique à l'Institut écologie et environnement (INEE) du CNRS.

၁၄၈၇၇၇