

fluence de l'élite, ici plus profondément dans l'arrière-pays d'Abomey et dans celui de Cana. Les complexes royaux les plus vastes ont été construits à Abomey et à Cana, et des établissements satellites sont apparus en divers points du territoire. Manifestement, le pouvoir royal diffusait dans le pays à partir des centres administratifs qu'étaient Abomey et Cana. Tout comme, au XVIII^e siècle, la multiplication des établissements royaux en direction du Sud s'explique par le contexte international.

En effet, les revenus royaux provenant de la traite s'étaient mis à baisser à mesure que les puissances européennes interdisaient la traite. Après le Danemark en 1803, ce fut le tour de la Grande-Bretagne en 1807, des États-Unis en 1808, de la Hollande en 1814, de la France en 1818 et de la Suède en 1824 ; ont suivi l'Espagne en 1835 et le Portugal en 1836. De 1797 à 1804, les forts européens de Ouidah furent abandonnés, puis, à partir de 1807, l'escadre britannique de l'Afrique de l'Ouest, parfois aidée par la marine américaine, imposa plusieurs dizaines d'années durant un blocus à tout navire négrier se présentant le long de la Côte des esclaves. Cela fit chuter le nombre de cargaisons humaines quittant la côte. Dans le même temps, des émissaires européens encourageaient les États ouest-africains tel le Dahomey à développer leur commerce de produits agricoles, principalement d'huile de palme, de plus en plus recherchée en Europe pour la confection de savons, de bougies et de lubrifiants industriels.

Cette évolution de l'attitude européenne eut un profond impact sur la stabilité politique des États de la région. La traite, qui supposait pouvoir coercitif (militaire) et réseaux à grande distance, n'était à la portée que des élites, mais chacun pouvait cultiver des palmiers... De petits planteurs et commerçants de nombreux royaumes africains purent ainsi accumuler des richesses et rivaliser avec les rois, ce qui déstabilisa l'ordre social.

Les dynasties royales ouest-africaines furent donc forcées de réagir au risque de disparaître. Certaines, tel le royaume dahoméen, survécurent en remplaçant la vente des captifs aux Européens par leur exploitation au sein d'unités de production, ce qui transforma radicalement l'organisation politique et économique. Le Dahomey continua à mener contre ses voisins des campagnes militaires pour razzier des pri-



8. APRÈS L'ABANDON DE LA TRAITE DES ESCLAVES COMME PRINCIPALE RESSOURCE, l'État dahoméen chercha à tirer profit de l'économie de son peuple en taxant les échanges, même sur les marchés ruraux. Il installa le long des routes principales et à l'entrée des places de marché un réseau de perceptions nommé *denun*.

sonniers, mais ces captifs étaient mis au travail – forcé – dans la production agricole à grande échelle. En plus d'accroître la population d'esclaves domestiques, cette transition économique développa les échanges locaux et la richesse des communautés rurales : l'économie dahoméenne se ruralisa.

De la traite à la taxe

Le pouvoir dahoméen réagit en créant des impôts sur la production agricole et les marchés locaux. Dans les principaux marchés du Dahomey, des fonctionnaires étaient responsables de la collecte des impôts et du maintien de l'infrastructure des marchés. En plus des impôts levés sur les marchandises vendues, un réseau de perceptions nommé *denun* fut créé dans tout le royaume afin de collecter l'impôt auprès des commerçants itinérants (voir la figure 8). L'officier de marine britannique Frederick Forbes, qui visita deux fois le Dahomey entre 1849 et 1850, écrivit :

Lourds pour tous, les impôts sont prélevés par des percepteurs. Les dépositaires des Coutumes disposent de percepteurs stationnés sur tous les marchés, qui reçoivent un nombre de cauris dépendant de la valeur des marchandises proposées à la vente. À côté de ceux-ci, il y a des percepteurs sur toutes les routes publiques conduisant d'un district à un autre et sur la lagune de chaque côté de Ouidah ; tout est taxé et les taxes vont au roi.

Les complexes royaux construits à cette époque peuvent être considérés

comme des nœuds au sein du réseau de perceptions destinées à taxer les marchés locaux et les commerçants empruntant les principales routes. Ceux qui se trouvaient loin d'Abomey percevaient des impôts sur toutes les poteries, les étoffes, les animaux et l'huile de palme qui s'échangeaient sur place. Ces impôts en nature ou en monnaie étaient ensuite centralisés à Abomey.

Malgré les trois décennies de recherches au Bénin, les archéologues du paysage en sont encore à gratter la surface... du passé. Nous commençons seulement à reconstituer les liens politiques et économiques entre les populations rurales et les élites urbaines et à comprendre de quelles façons ces élites ont transformé ces liens pour réagir et s'opposer aux forces extérieures.

Toutefois, notre compréhension des sociétés africaines antérieures à la traite des esclaves reste faible. Nous mesurons mal comment le commerce avec les Européens a vraiment affecté la vie quotidienne des centaines de milliers de gens qui vivaient au Sud du Bénin. C'est pourquoi des archéologues commencent à fouiller des sites antérieurs à la traite et tentent d'étudier les systèmes de production et d'échanges qui y étaient employées. Ces nouveaux projets devraient nous orienter dans notre quête pour mieux comprendre dans quel contexte les États négriers africains de l'époque de la traite transatlantique ont émergé. ■

Le vent

et la dispersion des plantes

Ángel Felicísimo et Jesús Muñoz

Dans l'hémisphère Sud, des lieux très éloignés ont en commun de nombreuses espèces végétales. Les vents, plutôt que la dérive des continents, semblent à l'origine de certaines de ces similitudes.

L'ESSENTIEL

- ✓ Les flores de certaines régions éloignées présentent des similarités. L'une des hypothèses pour expliquer ces dernières est le transport d'éléments végétaux par le vent.
- ✓ Des données sur les vents, obtenues par satellite, ont permis de tester l'hypothèse du vent pour près de 27 sites choisis dans l'hémisphère Sud.
- ✓ Les résultats montrent que la dispersion par le vent est le mécanisme le mieux à même d'expliquer la similarité floristique de lieux très distants, du moins pour certains groupes de plantes.

© Shutterstock/PHILL Mediadesign und Fotografie

Les espèces animales et végétales se répartissent de diverses façons sur la Terre. Certaines régions du globe présentent ainsi des flores similaires, d'autres des flores très différentes.

En 1908, le botaniste allemand Ludwig Diels a distingué six « royaumes floristiques » sur la planète, repris et conceptualisés plus tard par le botaniste anglais Ronald Good (1896-1992). Ces « royaumes » se caractérisent par un degré élevé d'endémisme au niveau des familles de plantes. Ils ont pour noms *Holarktis* (l'Amérique du Nord, l'Europe et le Nord de l'Asie), *Palaetropis* (l'Afrique, le Moyen-Orient et le Sud de l'Asie), *Neotropis* (les Amériques centrale et du Sud), *Capensis* (la région du Cap, en Afrique du Sud), *Australis*, et *Antarktis*. Les royaumes floristiques se subdivisent à leur tour en provinces floristiques, caractérisées par un endémisme élevé au niveau des espèces végétales.

Comment expliquer les différences et similitudes que l'on observe sur les flo-

res des diverses régions de la Terre ? Cette question centrale de la biogéographie est débattue depuis près de deux siècles, mais elle reste insuffisamment étayée sur le plan expérimental. Nous avons récemment effectué des analyses statistiques qui apportent une contribution de cette nature. Comme nous le détaillerons dans la suite, elles mettent en exergue l'importance du vent dans la diffusion des plantes sur de longues distances, au moins dans l'hémisphère Sud.

Géographie végétale : trois hypothèses

La distribution des espèces sur le globe a fait l'objet de trois principales hypothèses pour l'expliquer : l'« hypothèse de la vicariance », celle de la « dispersion à longue distance » et l'« hypothèse géodésique ». En quoi consistent ces théories ?

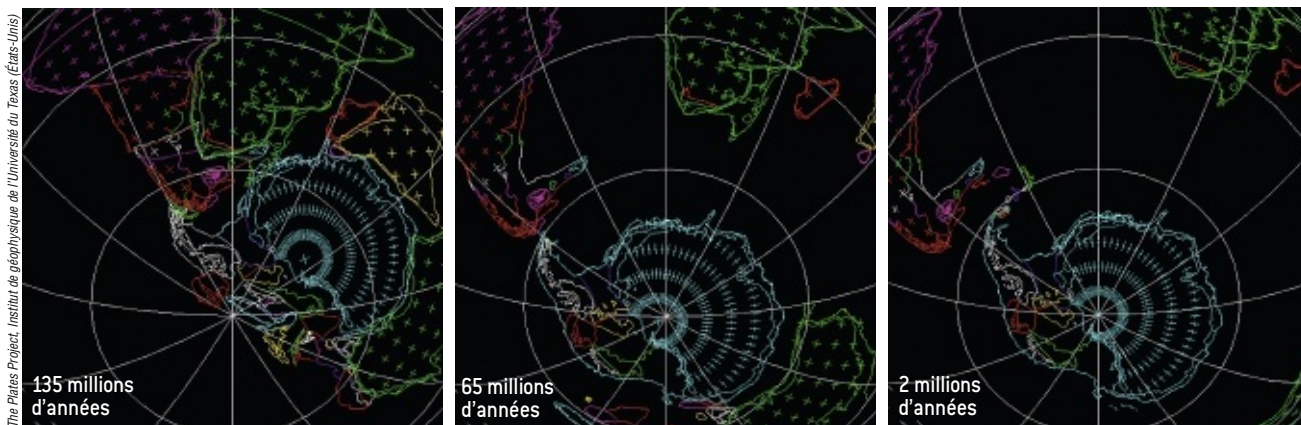
L'hypothèse de la vicariance a été formulée dans les années 1970 par Leon Croizat, Gareth Nelson et Donn Rosen, du

Muséum américain d'histoire naturelle, pour expliquer l'histoire évolutive des espèces. Selon eux, les similitudes et différences floristiques et faunistiques constatées aujourd'hui entre les diverses régions de la planète dépendraient de l'histoire géologique des continents.

Prenons l'exemple important des continents de l'hémisphère Sud : l'Antarctique, l'Amérique du Sud, l'Afrique du Sud et l'Australie. Il y a quelque 135 millions d'années, à la fin du Jurassique, ces terres qui étaient alors toutes réunies en un supercontinent nommé Gondwana ont commencé à se séparer. Les espèces se sont retrouvées isolées, ont évolué indépendamment et se sont peu à peu différenciées. C'est ce mécanisme qui expliquerait les similarités et les différences observées dans les faunes et flores de ces continents.

Selon l'hypothèse de la vicariance, plus la séparation géologique entre deux blocs est récente, plus le nombre d'espèces qui leur sont communes est grand, et plus leur flore se ressemble. En revanche, plus cette

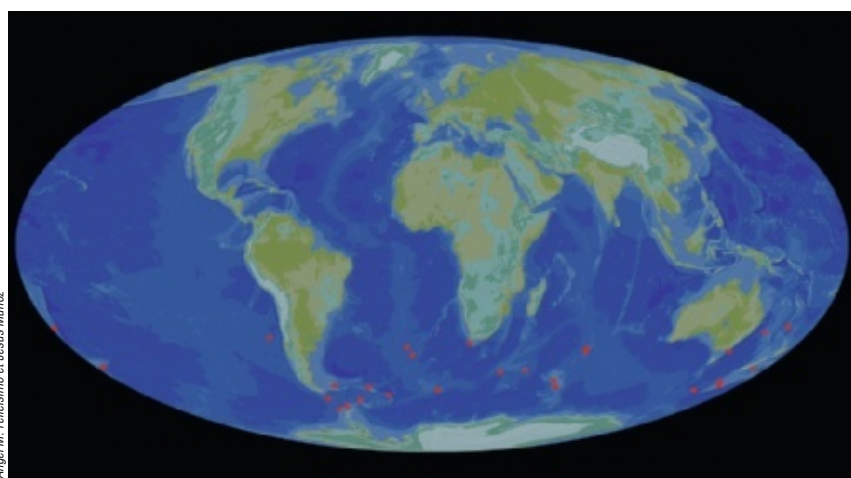




The Plates Project, Institut de géophysique de l'Université du Texas (États-Unis)

1. IL Y A 135 MILLIONS D'ANNÉES, les actuels continents de l'hémisphère Sud, réunis en un supercontinent nommé Gondwana, ont commencé à se séparer. La plaque correspondant aujourd'hui à l'Inde était réunie à Madagascar, à l'Afrique et à l'Antarctique. Ces deux derniers continents ont commencé à se séparer il y a environ 120 millions d'an-

nées. Puis ce fut le tour de l'Inde et de Madagascar, il y a quelque 85 millions d'années. Selon l'hypothèse de la vicariance, la similarité floristique de deux régions est inversement proportionnelle au temps écoulé depuis leur séparation géologique : faute d'échanges génétiques entre les populations, celles-ci évoluent de façon indépendante.



Angel M. Felicísimo et Jesús Muñoz

2. L'ANALYSE EFFECTUÉE PAR LES AUTEURS porte sur la répartition de plantes appartenant à quatre groupes botaniques et prend en compte 27 localités (en rouge) de l'hémisphère Sud.

séparation remonte loin dans le temps, plus la flore de ces régions a eu de possibilités d'évoluer et de se singulariser.

L'hypothèse de la « dispersion à longue distance » sous-entend que certaines espèces sont transportées par le vent jusqu'à des milliers de kilomètres de leur zone d'origine. Ce processus rendrait possible la colonisation de lieux très éloignés les uns des autres. Il s'applique aux espèces dont les éléments sont légers ou peuvent se propager grâce à de petits fragments – des propagules (pour une reproduction non sexuée), graines ou spores (pour une reproduction sexuée). Les végétaux aux graines lourdes ou volumineuses sont exclus de ce mode de dispersion.

Comment le vent agit-il ? Son efficacité pour relier des régions distantes dépend de sa vitesse et de sa direction. Deux lieux

éloignés peuvent être raccordés s'il existe un flux d'air intense et direct d'un de ces lieux à l'autre. Cela expliquerait la présence d'espèces communes dans des endroits qui n'ont jamais été proches géographiquement. À l'inverse, deux régions proches peuvent se retrouver isolées si aucun vent direct ne souffle de l'une vers l'autre.

La grande différence entre l'hypothèse de la vicariance et celle de la dispersion à longue distance sous l'effet du vent est d'ordre temporel. L'hypothèse de la vicariance part de l'idée que la répartition des espèces dépend, par essence, d'un processus historique s'étalant sur des millions d'années. D'après celle de la dispersion à longue distance, ce sont des mécanismes récents qui expliquent le mieux cette répartition : la similitude floristique serait étroitement liée aux schémas actuels de circulation des vents.

Selon l'« hypothèse géodésique », enfin, la ressemblance floristique entre deux lieux serait inversement proportionnelle à la distance qui les sépare. Ces distances varient en fonction de la dérive des continents, d'où une prise en compte du facteur historique. L'hypothèse géodésique ne nie pas le rôle du vent, mais elle considère pour acquis que la résultante des flux n'a pas de direction privilégiée : à plus ou moins long terme, le vent relie tout avec tout, de sorte que la probabilité de propagation d'une espèce ne dépend plus que de la distance.

Les deux premières hypothèses, celle de la vicariance et de la dispersion à longue distance, font débat depuis des décennies. La troisième est plus récente – elle date de 2001 – et ne bénéficie pas du recul nécessaire. Nous avons donc cherché à vérifier si l'une de ces hypothèses pouvait expliquer la similitude floristique observée sur un ensemble de régions de l'hémisphère Sud très éloignées les unes des autres.

Une analyse statistique

Il s'agissait d'établir scientifiquement la vraisemblance de ces hypothèses sur des bases statistiques, en confrontant les données d'observation aux données théoriques, c'est-à-dire aux résultats pressentis pour chaque hypothèse.

La zone que nous avons choisie pour notre analyse s'étend entre la côte du continent Antarctique et le 30° degré de latitude Sud. Elle représente environ 25 pour cent de la superficie de la Terre, que les océans recouvrent à 70 pour cent. Nous avons

sélectionné 27 sites pour lesquels nous disposons d'un nombre suffisant de données biologiques. Certains sont situés sur la partie continentale, mais la plupart sont constitués d'îles océaniques.

L'hémisphère Sud offre un cadre d'expérimentation privilégié, car on y trouve des zones géologiques d'âges très divers. Certaines, très anciennes, ont fait partie du Gondwana ; d'autres, plus récentes, sont nées de l'activité volcanique ou de mouvements tectoniques. Ces lieux sont également isolés, ce qui élimine toute possibilité de transport par étapes, scénario qui aurait beaucoup nui à la pertinence de notre test.

Quatre groupes de plantes testés

Nous avons choisi quatre groupes taxonomiques bien représentés dans cette zone : les mousses, les hépatiques, les lichens et les fougères (voir la figure 4). Les bryophytes (mousses et hépatiques) ainsi que les lichens ont la capacité de se disperser et se multiplier par propagules non sexués. Ce mode de reproduction asexuée facilite la colonisation, car même de minuscules propagules peuvent être viables si les conditions climatiques et la nature du sol sont, sur le lieu de destination, favorables. De plus, les propagules résistent mieux que les spores aux conditions environnementales difficiles dans lesquelles peut se produire la dispersion (basses températures et intense rayonnement ultraviolet).

Les fougères, elles, se disséminent par l'intermédiaire de spores. Ce mode de diffusion complique beaucoup la colonisation, car pour clore le cycle de reproduction, deux gamétophytes de sexe distinct doivent coïncider dans l'espace et dans le temps.

Nous avons collecté et traité quatre types de données : biologiques, géologiques, éoliennes et géographiques. Les données biologiques sont constituées par des listes de présence (ou d'absence) d'espèces. Elles ont été élaborées en prenant en compte la bibliographie existante et en interrogeant les experts. À partir du nombre d'espèces communes, ou non, une matrice de similarité floristique a été élaborée pour chaque groupe taxonomique. Une telle matrice est un tableau dont chaque élément est un nombre, un indice qui représente la similarité floristique entre deux des 27 sites

considérés. La fiabilité des indices de similarité floristique dépend, entre autres, du nombre d'espèces retenues. Dans le cas de notre étude, 1 851 espèces ont été prises en compte : 601 mousses, 461 hépatiques, 597 lichens et 192 fougères.

Les données géologiques correspondent au temps qui s'est écoulé depuis la séparation des deux sites sous l'effet de la dérive des continents. L'indice de similarité géologique est inversement proportionnel à ce temps. Des valeurs proches de 0 indiquent une séparation ancienne (dans notre cas, environ 135 millions d'années). Des valeurs proches de 1 témoignent d'une séparation récente. Aux îles volcaniques qui n'ont jamais fait partie du Gondwana a été attribué un temps de séparation infini (l'indice de similarité géologique est nul). Si l'hypothèse de la vicariance était confirmée, la matrice de similarité géologique serait étroitement corrélée aux matrices de similarité floristique.

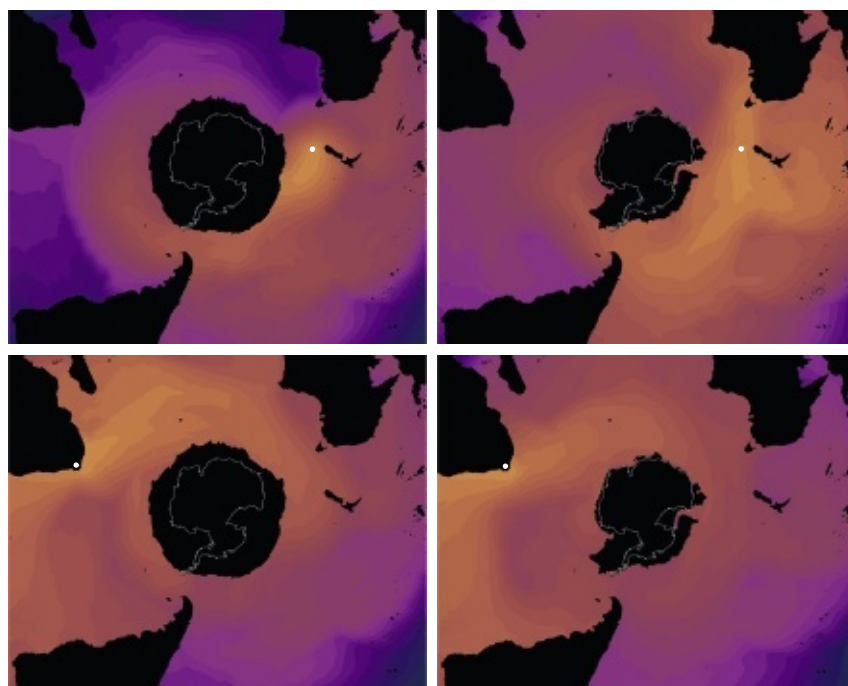
Pour tester l'hypothèse de la dispersion par le vent, il est nécessaire de calculer le degré de connectivité éolienne entre deux sites. Les données de base ont été fournies par le satellite QuikSCAT, lancé par la NASA en juin 1999 et qui a cessé de

LES AUTEURS



Ángel Manuel FELICÍSIMO travaille au Département d'expression graphique de l'Université d'Estrémadure, en Espagne.

Jesús MUÑOZ est botaniste au Jardin botanique royal de Madrid, ainsi que chercheur associé au Jardin botanique du Missouri à Saint-Louis (États-Unis).



3. DES MODÈLES DITS DE CONTRAINTÉ déterminent la résistance à vaincre, compte tenu des vents, pour aller d'un point à un autre du globe. Plus cette contrainte est faible, plus les deux points en question sont reliés par le vent (connectivité éolienne élevée). Ces images indiquent la connectivité éolienne des points de l'hémisphère Sud par rapport à un point (en blanc) correspondant aux îles Auckland (en haut) ou à l'Afrique du Sud (en bas), mi-novembre 2003 (images de gauche) et mi-janvier 2004 (images de droite). La connectivité varie entre 0 (en bleu foncé) et 1 (en orange). Le noir correspond aux régions terrestres ou recouvertes de glace.

Ángel M. Felicísimo et Jesús Muñoz



4. QUATRE GROUPES BOTANIQUES ont servi de base à l'étude des auteurs sur la répartition des espèces végétales : les fougères [a], les hépatiques [b], les lichens [c] et les mousses [d]. Les fougères se propagent par des spores, les hépatiques, lichens et mousses se disséminent surtout par l'intermédiaire de petits fragments végétaux nommés propagules.

✓ BIBLIOGRAPHIE

Á. M. Felicísimo *et al.*, **FORCLIM, Bosques y cambio global**, Programa CYTED, Madrid, Bubok Publishing S. L., 2011.

Á. M. Felicísimo *et al.*, **Ocean surface winds drive dynamics of transoceanic aerial movements**, *PLoS ONE*, vol. 3[8], e2928, 2008.

J. Muñoz *et al.*, **Wind as a long-distance dispersal vehicle in the southern hemisphere**, *Science*, vol. 304, pp. 1144-1147, 2004.

A. C. M. Stoffelen, **Scatterometry**, Electronic Theses and Dissertations, Université d'Utrecht, 1998. <http://igitur-archive.library.uu.nl/dissertations/01840669/inhoud.htm>

J. M. Bullock *et al.*, **Dispersal Ecology**, Blackwell, 2002.

Mission QuikSCAT de la NASA/JPL : <http://winds.jpl.nasa.gov>

fonctionner en 2009. *QuikSCAT* embarquait le capteur *SeaWinds*, qui mesurait l'intensité et la direction des vents océaniques. Depuis son orbite, à 803 kilomètres d'altitude, ce diffusomètre émettait des impulsions de micro-ondes à une cadence élevée (voir l'encadré page 45). Plus la vitesse du vent est grande, plus la mer est agitée et rugueuse. Or une surface rugueuse diffuse davantage les signaux micro-ondes qu'une surface lisse. L'intensité de l'écho reçu par *SeaWinds*, qui dépend donc de la rugosité de la surface marine, permet alors d'estimer la vitesse du vent.

Ces données, traitées par le Laboratoire de propulsion spatiale (JPL) de la NASA, sont mises gratuitement à la disposition de la communauté scientifique sur Internet. Les données étant recueillies quotidiennement, la résolution temporelle est excellente. La résolution spatiale est de 25 kilomètres. En raison des trajectoires du satellite, certaines zones océaniques en forme de fuseau, orientées Nord-Sud, ne sont pas couvertes. Mais cet inconvénient peut être surmonté en combinant les données de plusieurs jours consécutifs.

Nous avons utilisé toutes les données éoliennes disponibles au moment de

notre étude, c'est-à-dire presque quatre années d'informations quotidiennes, de juin 1999 à mars 2003. Nous avons ensuite continué la collecte et ajouté des données tous les six mois.

Les données éoliennes ne permettent pas de calculer directement les valeurs de connectivité entre les lieux étudiés. Il faut pour ce faire calculer des modèles de contrainte anisotrope. De quoi s'agit-il ?

Un modèle de contrainte se présente sous la forme d'une carte où à chaque point est associée une valeur exprimant la contrainte ou la résistance à vaincre pour aller d'un point fixé au point considéré (voir la figure 3). En l'absence de vent, la contrainte est isotrope : l'effort est indépendant de la direction du mouvement. En présence de vent, elle est anisotrope et dépend de la vitesse et de la direction du vent en chaque point, ainsi que de leurs variations au fil du temps. L'effort total est égal à la somme des efforts correspondant à chacun des petits tronçons qui composent le parcours. Il peut être supérieur ou inférieur à la situation de contrainte isotrope, correspondant à l'absence de vent : le vent peut en effet s'opposer au mouvement ou le faciliter.

Évaluer la connectivité éolienne

Sur ce principe, nous avons estimé le degré de connectivité éolienne entre les lieux étudiés. Nous avons calculé les modèles de contrainte entre chacun des 27 sites d'origine possibles et le reste des localités. Pour ce faire, nous avons utilisé un système d'information géographique, en répétant l'analyse à dix jours d'intervalle durant près de quatre ans. Nous avons ainsi obtenu 139 ensembles de 27 modèles de contraintes, chacun de ces modèles indiquant, pour la décade considérée, le degré de connectivité éolienne entre chacune des 27 localités et les 26 autres.

À partir de la série temporelle constituée par les 139 ensembles, nous avons construit une matrice qui rassemble les valeurs maximales de connectivité observées pour chaque paire de sites, pour la période allant de 1999 à 2003. Enfin, nous avons calculé les distances géographiques entre les 27 localités de l'étude. Ces données ne posent pas de difficultés particulières, elles sont déterminées par des formules géodésiques simples et bien connues.

Pour résumer, nous avons obtenu sept matrices mesurant la similarité entre les 27 localités étudiées. Quatre matrices traduisent la similitude floristique (une matrice pour chacun des quatre groupes botaniques considérés). Une cinquième correspond à la similitude géologique, sur laquelle s'appuie l'hypothèse de la vicariance. Une sixième matrice synthétise la connectivité éolienne sur la période allant de 1999 à 2003 (en liaison avec l'hypothèse de dispersion à grande distance par le vent). Enfin, une septième matrice exprime la proximité géographique entre les 27 sites (en liaison avec l'hypothèse géodésique).

L'étape suivante de notre analyse a consisté à mesurer la corrélation, ou degré d'association, entre les matrices de simila-

rité floristique et celles qui correspondent à chacune des trois hypothèses proposées pour expliquer la répartition des végétaux.

Cette corrélation a été mesurée à l'aide d'une technique statistique comportant deux étapes (nommées positionnement multidimensionnel et analyse procustéenne). Sans entrer dans les détails, l'analyse statistique fournit *in fine* une valeur P comprise entre 0 et 1 qui mesure le caractère aléatoire du lien entre les deux matrices comparées. Autrement dit, plus la valeur de P est petite, plus les deux matrices en question sont corrélées. Par exemple, une valeur $P = 0,005$ signifie que la probabilité que la corrélation observée entre les deux matrices soit due au hasard, et non à un lien réel, est de 0,5 pour cent.

Cette analyse a été appliquée pour comparer les matrices de similarité floristique avec celle des temps de séparation géologique, celle de la connectivité éolienne maximale et celle des distances géographiques.

Les résultats montrent que l'hypothèse de la dispersion à longue distance par les vents est la plus vraisemblable. En effet, la corrélation de la similarité floristique avec la connectivité éolienne est toujours supérieure à la corrélation avec les temps de séparation géologique ou avec les distances géographiques. C'est seulement dans le cas des fougères que la distance géographique montre une signification statistique équivalente (voir l'encadré page 46).

COMMENT MESURER LES VENTS OCÉANIQUES

Un diffusomètre est un radar qui permet de mesurer le vent en envoyant des impulsions électromagnétiques micro-ondes sur la surface de la mer et en enregistrant l'intensité de l'écho qui revient. La diffusion des ondes par la mer dépend

de la rugosité de sa surface, elle-même liée à la vitesse du vent. Ainsi, l'intensité de l'écho capté, qui dépend de cette rugosité, permet d'estimer la vitesse du vent à l'instant où est effectuée la mesure.



Le satellite QuikSCAT

Un laboratoire spatial

Les données diffusométriques ont été fournies par le satellite QuikSCAT lancé par la NASA le 19 juin 1999. Il embarquait SeaWinds, un capteur qui mesurait la vitesse et la direction du vent à la surface des océans. Ce type de données met en évidence les interactions entre l'atmosphère et la mer, les courants océaniques et les phénomènes météorologiques cycliques tels que El Niño.

Grâce à son antenne parabolique tournante, SeaWinds balayait l'océan en envoyant des impulsions électromagnétiques de 13,4 gigahertz [dans le domaine des micro-ondes], à une cadence de 189 impulsions par seconde et avec une puissance de 110 watts.

Les vaguelettes engendrées par le vent à la surface de la mer réfléchissent l'onde radar en la diffusant. De la mesure de cette rétrodiffusion sont déduites la vitesse et la direction du vent en surface. Les vents sont estimés avec une incertitude de 2 mètres par seconde pour la vitesse et de 20 degrés pour la direction ; la résolution spatiale est de 25 kilomètres.

Plus la vitesse du vent est élevée, plus la rugosité de la surface de la mer est importante et moins l'écho reçu par le capteur sur le satellite est intense.

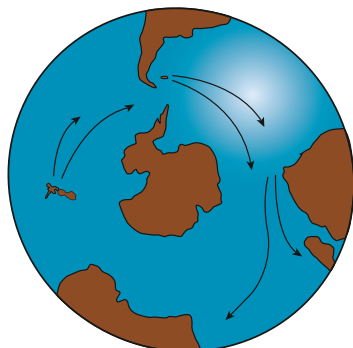
Écho renvoyé par la surface de la mer

Impulsion micro-onde émise

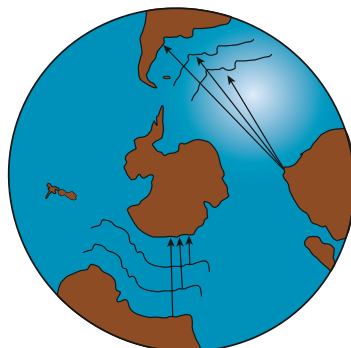
Les nuages n'arrêtent pas les micro-ondes. Le diffusomètre peut donc opérer dans des conditions météorologiques très diverses et à n'importe quel moment de la journée ou de la nuit.

TROIS HYPOTHÈSES CONFRONTÉES AUX OBSERVATIONS

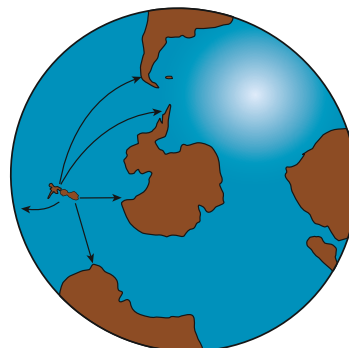
Trois hypothèses ont été avancées pour expliquer la répartition des espèces végétales : l'hypothèse de la vicariance, celle de la dispersion à longue distance par le vent et l'hypothèse géodésique. Pour déterminer l'hypothèse la plus vraisemblable, les auteurs ont confronté ces hypothèses aux répartition observées des mousses, des hépatiques, des lichens et des fougères sur une vaste zone autour de l'Antarctique. Ils ont comparé les valeurs d'une grandeur statistique P qui mesure le caractère aléatoire de l'ajustement entre théorie et observations. Plus la valeur de P est petite, plus la corrélation statistique est élevée, et donc plus l'hypothèse correspondante est vraisemblable.



Hypothèse de la dispersion par le vent :
La similarité floristique entre deux lieux dépend de la configuration des vents.



Hypothèse de la vicariance :
Plus la séparation géologique de deux lieux est récente, plus leurs flores sont semblables.



Hypothèse géodésique :
La similarité floristique entre deux lieux est inversement proportionnelle à la distance qui les sépare.

	Hypothèse éolienne	Hypothèse de la vicariance	Hypothèse géodésique
Mousses	0,004	0,201	0,112
Hépatiques	0,004	0,110	0,062
Lichens	0,003	0,367	0,260
Fougères	0,003	—	0,003

Le pouvoir du vent

L'hypothèse de la dispersion éolienne à longue distance est celle qui s'accorde le mieux avec les observations. Elle présente en effet des valeurs d'ajustement très significatives et toujours supérieures à celles des hypothèses concurrentes (paramètre P inférieur à 0,5 pour cent, en orange). L'hypothèse de la vicariance n'explique la similarité floristique pour aucun des groupes végétaux étudiés (elle n'a pu être évaluée pour les fougères, qui ne se développent pas partout dans la région considérée). L'hypothèse géodésique n'offre une bonne corrélation avec les observations que dans le cas des fougères.

Angel M. Felicísimo et Jesús Muñoz

Ainsi, l'hypothèse de la vicariance n'explique pas la similarité floristique pour les trois premiers groupes taxonomiques étudiés. Pour le quatrième, celui des fougères, le nombre de localités ayant fait partie du Gondwana et où l'on trouve ces plantes aujourd'hui est trop restreint (le climat froid empêche le développement des fougères dans l'Antarctique et dans les îles subantarctiques). De plus, une partie des îles incluses dans notre étude sont d'origine volcanique et récente : elles n'ont jamais fait partie du Gondwana et n'entrent donc pas dans le schéma de la séparation géologique.

Quant à l'hypothèse géodésique, fondée sur les distances actuelles entre les localités, elle ne présente une bonne corrélation que dans le cas des fougères.

En résumé, l'étude conforte l'hypothèse de la dispersion éolienne à longue distance comme facteur déterminant de la similitude floristique pour les groupes analysés. La vicariance ne peut donc expliquer

la présence ou l'absence des espèces actuelles, même si elle peut éventuellement s'appliquer à des groupes végétaux supérieurs.

Il est évidemment impossible d'extrapoler ces résultats à l'ensemble de la flore et de la faune. La dispersion passive par le vent ne peut être un mécanisme de dissémination que pour des éléments suffisamment légers, tels que tout petits insectes, des algues d'eau douce ou des champignons.

Et l'Atlantique Nord ?

Nous poursuivons ces travaux selon plusieurs axes complémentaires. Tout d'abord, il s'agit d'effectuer le même type d'analyses sur d'autres groupes taxonomiques, végétaux et animaux. En second lieu, nous comptons mesurer la distance génétique existant entre différentes populations d'espèces présentes sur un grand nombre de sites étudiés. Cela nous permettra de vérifier si les dis-

tances génétiques restent en relation avec la connectivité éolienne ou avec la distance géographique.

À l'heure actuelle, nous reproduisons ces tests sur le Nord de l'Atlantique, zone où nous pouvons aussi utiliser, en plus du nombre d'espèces communes à deux lieux terrestres, la similarité génétique d'un ensemble d'espèces choisies. Nous avons élargi notre étude à d'autres groupes d'organismes que les quatre considérés dans nos travaux sur l'hémisphère Sud, et avons inclus les pucerons, les tardigrades (minuscules animaux à huit pattes formant un groupe apparenté aux arthropodes), les papillons de la superfamille des pyrales et certains groupes de champignons.

Les résultats de ces études devraient nous permettre de brosser un tableau plus complet du rôle joué par le vent dans la dispersion à longue distance des espèces végétales et animales. ■

★ MUSÉE DU QUAI BRANLY
là où dialoguent les cultures

LA REVUE GRADHIVA★

EN VENTE EN LIBRAIRIE

ET EN LIGNE SUR <http://www.librairie-epona.fr/revues/gradhiva.html>

Robots étrangement humains

Coordonné et présenté par Denis Vidal
et Emmanuel Grimaud

Qu'est-ce qui est en jeu lorsqu'on donne à un robot une apparence humaine, ou lorsqu'on croise son regard ? Autour de cette question gravitent les différentes contributions à ce numéro de la revue *Gradhiva*. Développant une anthropologie comparée des créatures artificielles dans leur diversité (des automates de l'Inde ancienne aux dernières créations du marché des *sex toys*, en passant par les marionnettes japonaises), les auteurs du dossier envisagent ces moments d'interaction qui obligent l'homme, confronté à sa propre image, à instaurer une relation nouvelle à des objets qui lui ressemblent et qui peuvent autant susciter le malaise que l'empathie. Pour ce faire, ils s'attachent à libérer la robotique humanoïde des discours prophétiques qui l'accompagnent souvent pour mieux en saisir les enjeux contemporains, à l'aide notamment d'une ethnographie précise des pratiques de laboratoires. Dans la perspective interdisciplinaire qui est la sienne, la revue *Gradhiva* apporte avec ce numéro une contribution inédite à l'étude des machines anthropomorphes.

★ musée du quai Branly

GRADHIVA

15

Robots étrangement humains

Retrouvez les numéros précédents de GRADHIVA sur www.quaibranly.fr/gradhiva

La face cachée des Orages

**Les orages sont beaucoup plus actifs qu'on ne le pensait.
Outre les éclairs, des émissions variées se produisent...
au-dessus des nuages.**

Elisabeth Blanc et Thomas Farges

Une nuit de 1989, une caméra testée par l'équipe de John Winckler, de l'Université du Minnesota, aux États-Unis, enregistre un mystérieux flash lumineux à haute altitude dans l'atmosphère, au-dessus d'un orage. L'idée que ce flash puisse être produit par l'orage entraîne un nouvel examen d'images d'orages prises depuis la navette spatiale américaine : plusieurs montrent des flashes lumineux similaires, surgissant au sommet des nuages illuminés par les éclairs. En 1993, une caméra embarquée à bord d'un avion par l'équipe de Davis Sentman, de l'Université d'Alaska, prend la première photo en couleurs d'un « sylphe » rouge (*sprite* en anglais, nom donné par D. Sentman pour évoquer l'étran-

geté du phénomène sans suggérer de mécanisme physique *a priori*) – un jet de lumière rouge qui s'étend du sommet des nuages à la base de l'ionosphère, à une centaine de kilomètres d'altitude. Cette découverte marque le début d'une chasse internationale aux sylphes, mettant en œuvre de nombreuses expériences dans les différentes parties du monde.

La chasse s'est révélée fructueuse. En une dizaine d'années, les émissions lumineuses variées détectées au-dessus des zones orageuses – rassemblées sous le nom d'événements lumineux transitoires (TLE) – ont modifié notablement notre compréhension des orages atmosphériques et des échanges énergétiques transitoires entre les couches atmosphériques.

Par ailleurs, des satellites d'astronomie ont mesuré des émissions de rayons gamma – des flashes gamma d'origine terrestre (TGF) – atteignant 30 mégaelectronvolts, soit des énergies comparables à celles des émissions gamma d'origine solaire. De telles énergies, qui n'étaient pas attendues dans l'atmosphère terrestre, ont bouleversé notre compréhension des orages atmosphériques. À partir de 2007, les mesures du satellite AGILE ont même révélé de nombreux photons à des énergies atteignant 100 mégaelectronvolts – une énergie qui remet en cause les mécanismes envisagés jusqu'alors.

Que sont les événements lumineux transitoires et les flashes gamma d'origine terrestre ? Comment sont produites ces