

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.

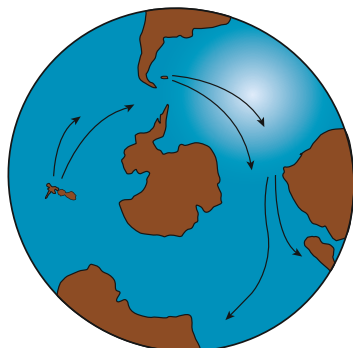
Impulsion micro-onde émise

Écho renvoyé par la surface de la mer

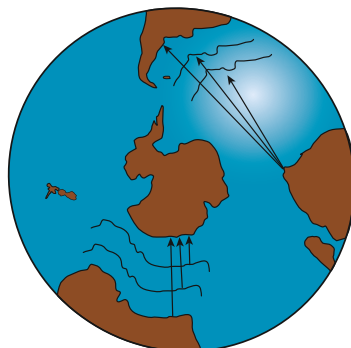
Les nuages n'arrêtent pas les micro-ondes. Le diffusomètre peut donc opérer dans des conditions météorologiques très diverses et à n'importe quel moment de la journée ou de la nuit.

TROIS HYPOTHÈSES CONFRONTÉES AUX OBSERVATIONS

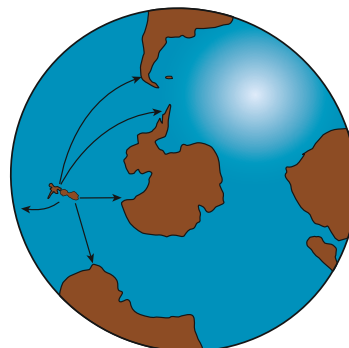
Trois hypothèses ont été avancées pour expliquer la répartition des espèces végétales : l'hypothèse de la vicariance, celle de la dispersion à longue distance par le vent et l'hypothèse géodésique. Pour déterminer l'hypothèse la plus vraisemblable, les auteurs ont confronté ces hypothèses aux répartitions 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. ■