SEPM
TOP
ventes

epsiloon

nouveau magazine scientifique d'actualité

n° 50
août
2025

LA MARCHE DES ARBRES

ANALYSE D'UNE MIGRATION PLANÉTAIRE

MÉTAUX AMORPHES
UNE NOUVELLE MATIÈRE PREMIÈRE

NÉOLITHIQUE
HISTOIRE OUBLIÉE DES PREMIERS PARISIENS

ÉNERGIE
LE PARI DE LA FUSION LASER

ÉVOLUTION
ÉLOGE DE LA SOLITUDE ANIMALE

SEXUALITÉ
PORTRAIT D'UNE GÉNÉRATION

ANDROMÈDE
VOYAGE DANS L'AUTRE GALAXIE

BELUX: 7,60 € – CH: 11,10 CHF – CAN: 10,99 $CAD
DOM 7,60 € – D: 9,40 € – IT-ESP-GR-PORT-CONT: 7,60 €
MAR: 77 MAD – TUN: 14,50 TND – TOM: 950 XPF CPPAP

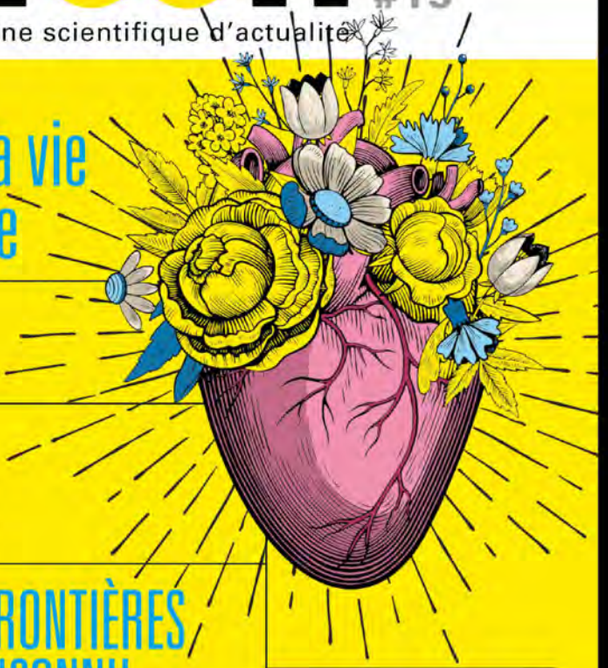
L 14100 - 50 - F: 6,90 € - RD

epsiloon | n°50

FORÊT I AMORPHES I RUBANÉS I FUSION LASER I SOLITUDE I SEXUALITÉ I ANDROMÈDE

HORS-SÉRIE

epsiloon Hors·Série #15
nouveau magazine scientifique d'actualité



Premier récit de la vie avant la naissance

Terre
La leçon des lieux sans vie

POURQUOI LES IA SEMBLENT VIVANTES

VIE AUX FRONTIÈRES DE L'INCONNU
La vie des trous noirs, la vie des cristaux, la vie des langues, la vie de l'ARN…

ANALYSE DES 123 DÉFINITIONS DE LA VIE

Épigénétique
La promesse d'une vie éternelle ?

12 portraits scientifiques d'E.T.

CYCLE DE VIE *Enquête sur un paradoxe industriel*

En vente chez votre marchand de journaux

Édito

HERVÉ POIRIER
RÉDACTEUR EN CHEF

Depuis le début, nous avons mis l'émotion au cœur de notre aventure éditoriale. Cela peut paraître un peu surprenant, la science étant plus souvent associée à la froideur du raisonnement, au recul de l'objectivité, plutôt qu'à la joie, la tristesse, le dégoût, la peur, la colère et la surprise – nos six émotions de base. Il suffit pourtant de discuter avec des scientifiques pour se rendre compte des émotions qui les meuvent, jusqu'à impulser leurs recherches. Au-delà des affects, pour nous aussi, c'est l'émotion qu'une histoire nous provoque qui nous donne envie de vous la raconter. Qu'est-ce qu'une information intéressante si ce n'est celle qui nous touche, nous surprend, nous fait sourire, nous inquiète ? Vous comprenez maintenant pourquoi nous nous sommes passionnés, il y a trois mois, pour les débats qui animent les psychologues à propos du « kama muta », notre septième émotion, le sentiment étrange et beau de se trouver face à quelque chose qui nous dépasse, avec une envie de pleurer, mais sans tristesse. C'est cette émotion qui nous a inspirés ce mois-ci, qui a guidé notre dossier consacré à la grande migration des forêts en cours partout sur la planète, c'est elle que nous avons voulu vous transmettre. Elle se mélange avec d'autres – la peur que les arbres soient pris de vitesse, la tristesse d'un paysage en train de disparaître, la surprise des ressources du végétal. Mais c'est avant tout du « kama muta » que nous voulions partager en couverture, face à la marche des arbres.
Oui, cette émotion pourrait bien être celle de la science par excellence, lorsque ses microscopes, ses télescopes, ses séquenceurs génétiques nous révèlent toute la beauté et l'étrangeté de la nature.

epsiloon

L'ÉMOTION DE LA SCIENCE

ANNE LEVY

ABONNEZ-VOUS À epsiloon ET NE MANQUEZ AUCUN NUMÉRO epsiloon.com

LA MARCHE DES ARBRES

ANALYSE D'UNE MIGRATION PLANÉTAIRE

Oui, face au réchauffement, les forêts du monde entier se sont mises en marche. Vont-elles assez vite ? Réussiront-elles à atteindre des zones plus clémentes ? À franchir les obstacles qui se dressent sur leur chemin ? Partagés entre peur, espoir et surprises, les spécialistes de l'écologie forestière s'interrogent. Une partie du destin du monde se joue dans cet exode hors norme.

PAR ALEXANDRA PIHEN AVEC JEAN-BAPTISTE VEYRIERAS

42 UNE GRANDE MARCHE, PARTOUT DANS LE MONDE

50 QUELLE FORÊT PLANÉTAIRE EN 2100 ?

52 UNE MULTITUDE DE FACTEURS

54 LE DILEMME DE LA MIGRATION ASSISTÉE

SHUTTERSTOCK - ROBERT VALARCHER / BIOSPHOTO

DANS LES ANDES, UNE MIGRATION À PLUSIEURS VITESSES

En Colombie, en Équateur, au Pérou, dans le nord de l'Argentine… Sur les 64 sites suivis depuis l'an 2000, les arbres capables de supporter des températures élevées sont de plus en plus nombreux à s'implanter. Et ils le sont d'autant plus que la température grimpe localement – de 0,06 °C en moyenne par an depuis 1990. Ils peinent toutefois à franchir les multiples transitions entre la plaine, les forêts de nuages et d'altitude.

EN ALASKA, LA FORÊT BORÉALE AVANCE DE 4 KM TOUS LES 10 ANS

La découverte a surpris les scientifiques : près de 7 000 épinettes blanches sont parties à la conquête de la toundra dans le nord-ouest de l'Alaska. Et certaines se trouvent déjà à plus de 40 km de la forêt boréale. Leur marche serait aussi rapide que celle des arbres qui se sont rués vers le Grand Nord après le dernier maximum glaciaire, il y a 15 000 ans.

EN CHINE, LES CHÊNES SE PRÉCIPITENT VERS LE NORD

Quercus mongolica, le chêne le plus commun des forêts tempérées d'Extrême-Orient, avancerait presque aussi rapidement que le réchauffement : dans le nord-est de la Chine, il progresserait en pleine forêt boréale de 12 km par décennie. Au point que les chercheurs évoquent une « déboréalisation » à vitesse grand V de ces régions.

AU JAPON, LA FORÊT FROIDE SE RECOMPOSE

Dominée par les conifères – sapins et épicéas de Sakhaline –, la forêt mixte d'Hokkaido connaît une augmentation continue de la température et des précipitations. Sans parler de l'arrivée des typhons, comme en 2004, qui ouvrent des pans entiers de forêt. Depuis 38 ans, ce sont les feuillus – chênes, érables et magnolias – qui prolifèrent ici davantage.

EN SUISSE, LES PINS CHERCHENT LA FRAÎCHEUR EN ALTITUDE

Dans la vallée de Dischma, près de Davos, la forêt de pins et de mélèzes grimpe aujourd'hui jusqu'à 2200 m, voire 2330 m sur les versants les plus favorables. Étudiées depuis plus de 40 ans, ces forêts se sont rapprochées des sommets à la vitesse de 10 m par décennie, parfois même quatre fois plus vite – la température moyenne annuelle de l'air a, elle, augmenté de 1,5 °C.

EN EUROPE CENTRALE, DES CHEMINS S'ENTROUVRENT

Les espèces d'arbres qui peuplent les forêts d'Europe ont peu bougé depuis le début des années 2000. Mais quelques signes avant-coureurs se dessinent : ces vingt dernières années, les forêts ont particulièrement souffert des tempêtes, des attaques de scolytes et de la sécheresse. Partout, les épicéas y cèdent du terrain, laissant la place à de nouvelles espèces.

SHUTTERSTOCK - CATHY WITHERS-CLARKE / ALAMY STOCK PHOTO

EN SIBÉRIE, LES FEUILLUS GRIGNOTENT LA FORÊT BORÉALE

C'est ce qu'a constaté une équipe chinoise en analysant 30 ans d'images satellites du kraï de Krasnoïarsk, qui s'étend entre 51 ° et 69 ° de latitude. Dans la partie centrale, les feuillus, très présents plus au sud, se sont développés beaucoup plus rapidement que les conifères. Et pourraient même devenir majoritaires.

DANS LE SUD DE L'AFRIQUE, LES ARBRES DE LA SAVANE SE DÉSOLIDARISENT

Senegalia nigrescens et *Sclerocarya birrea* (le marula) sont deux espèces clés et emblématiques de cette région. Des chercheurs ont analysé leur comportement du nord au sud du royaume de l'Eswatini. Résultat : le marula semble capable de suivre localement l'évolution du climat, quand son comparse est à la peine. Les deux espèces pourraient s'éloigner progressivement.

DANS L'HIMALAYA, LA FORÊT COMMENCE LA GRANDE ASCENSION

Dans l'est de la chaîne, des images de 2015 confirment que la forêt atteint désormais son altitude maximale théorique, autour de 4000 m. Et les chercheurs prédisent qu'elle devrait encore grimper de 140 m d'ici à 2100. À l'ouest, en revanche, activités humaines et sécheresses ont bloqué son avancée : la forêt y est même 800 m plus bas qu'à l'est.

AU BRÉSIL, DES MOUVEMENTS VERS LE HAUT ET VERS LE BAS

Sur 96 parcelles réparties le long de la forêt tropicale humide qui longe l'Atlantique, 42 % attestent un début de migration. Au-dessus de 400 m d'altitude, les espèces les moins tolérantes à la chaleur ont tendance à remonter. En dessous, c'est parfois l'inverse : des arbres cantonnés jusqu'ici au pied des pentes s'invitent dans la plaine.

SHUTTERSTOCK - GETTY IMAGES) - JOANNA STEDILE

EN AFRIQUE ÉQUATORIALE, UNE RECONFIGURATION

Ici, la diversité, plus faible et moins dynamique que dans les forêts d'Amérique et d'Asie, laissait présager une réponse plus lente face aux évolutions climatiques. Certes, mais les botanistes observent tout de même un début de reconfiguration. Entre 610 et 3388 m d'altitude, les espèces qui tolèrent le mieux la chaleur se multiplient depuis 2010 .

EN AMÉRIQUE DU NORD, LA COURSE ENTRE LES ESPÈCES

L'analyse de près de 600000 parcelles révèle une très grande disparité de vitesse entre espèces : un facteur 100 sépare l'arbre le plus rapide, l'épicéa de Sitka – il migre à plus de 500 km par décennie –, du plus lent, le platane d'Amérique. Même à l'intérieur d'un seul type de forêt, les espèces ne marchent pas de conserve : la recomposition semble inévitable, sauf intervention humaine.

Il y a vingt ans, aucune graine ne parvenait à germer sur ces surfaces gelées du nord de la Russie, ou des confins du Canada, de l'Alaska, de la Scandinavie, de la Chine. Puis une pousse s'est installée, puis deux, puis des centaines… Peu à peu, des troncs se sont dressés, ils ont tenu. Les arbres sont venus grignoter la toundra, la ligne de la forêt froide s'est déplacée et les feuillus se sont invités au milieu des conifères de la forêt boréale. Face à l'intensité du changement climatique, c'est bien l'option choisie par de nombreuses espèces du vivant qui fuient en direction des pôles, vers la fraîcheur de latitudes plus clémentes. Et les arbres, tout immobiles soient-ils, font partie du voyage.

SPORADIQUE, IMPRÉVISIBLE

Partout dans le monde, on constate leur marche. Ce n'est pas la première fois. *«Après la dernière glaciation, il y a 15000 ans, le climat s'est lentement réchauffé et les arbres ont entamé une grande migration. Les chênes se sont déplacés dans tout le nord de l'Europe à une vitesse sidérante: des centaines de mètres par an. Aujourd'hui, de nouveau, le changement climatique bouleverse les écosystèmes forestiers*, résume Antoine Kremer, généticien des populations à l'Inrae et à l'université de Bordeaux. *Oui, une nouvelle migration a commencé.»*

Partout dans le monde, les écologues scrutent cette grande marche des arbres, spectateurs inquiets d'un phénomène planétaire. Cette fois, contrairement à il y a 15000 ans, le mouvement apparaît désordonné, sporadique, imprévisible. Et bien plus lent. *«La migration actuelle est très différente de la migration postglaciaire*, reprend Antoine Kremer. *Les chênes se sont par exemple déplacés dans toute l'Europe à une vitesse moyenne de 400 à 1000 mètres par an. Là, on observe un déplacement de 30 mètres par an…» «Au niveau global, les recherches montrent un retard de migration des végétaux pour parcourir de grandes distances vers les pôles»*, s'inquiète de son côté l'écologue forestier CNRS Jonathan Lenoir, à l'université de Picardie Jules-Verne, qui vient de rassembler toutes les mesures actuelles dans une vaste méta-analyse.

Il faut dire que le rythme n'a rien à voir. La vitesse du front climatique actuel, estimée de 3000 à 5000 mètres par an selon les scénarios, est sans commune mesure avec celle de la période postglaciaire. *«Ce qui s'est fait en plusieurs milliers d'années à l'époque se produit aujourd'hui en quelques dizaines d'années»*, résume l'écologue forestier Sergio Rossi, directeur du laboratoire EcoTer au Centre de recherche sur la boréalie de l'université du Québec, à Chicoutimi. Alors oui, la forêt avance d'un mètre par an en Sibérie ; de 10 mètres par an au Canada… Et même si, en Alaska, l'épinette blanche, l'espèce la plus endurante, atteint 4 kilomètres par an, cheminant au même rythme qu'après la dernière glaciation, la vitesse de migration naturelle des arbres est aujourd'hui inférieure à la vitesse de déplacement du climat d'un facteur dix environ. Une étude publiée début juillet enfonce le clou, évaluant le décalage entre les arbres et le climat à deux siècles. *«Les écarts sont tels que la migration ne peut pas suivre»*, pose Antoine Kremer.

CAP À L'OUEST

«On a beaucoup plus d'échecs de migration qu'on ne pouvait en avoir à la fin de la dernière glaciation», constate Brigitte Musch, responsable du conservatoire des ressources génétiques à l'ONF, l'Office national des forêts. Dont certains sont bien identifiés : pour migrer, les arbres ont besoin d'espace, bien sûr, mais aussi de corridors de passage, d'une concurrence raisonnable… Or, la fragmentation des paysages bloque toute velléité de voyage.

«En Europe, par exemple, l'habitat forestier est très fragmenté. Les espaces forestiers sont limités. Si on prend le nord de la France et la Picardie, notamment la Somme, il y a beaucoup de champs cultivés et très peu de petites forêts qui sont parsemées deci, de-là dans le paysage», illustre Jonathan Lenoir. Du fait de la déforestation, plus de 62% de la superficie des forêts tropicales (10 millions de km²) sont déjà incapables de faciliter les mouvements des différentes espèces vers des climats plus propices. La canalisation ou la couverture artificielle des cours d'eau éliminent aussi des voies de transport pour les graines. *«Cette fragmentation des paysages ne favorise pas la migration naturelle. C'est une première barrière»*, pointe Jonathan Lenoir.

Mais les chercheurs sont en train de découvrir d'autres phénomènes, moins intuitifs, qui perturbent la grande marche. Comme cette étude →

SHUTTERSTOCK

Après la dernière glaciation, il y a 15000 ans, le climat s'est lentement réchauffé et les arbres ont entamé une grande migration. Les chênes se sont déplacés dans tout le nord de l'Europe à une vitesse sidérante : des centaines de mètres par an. Aujourd'hui, de nouveau, le changement climatique bouleverse les écosystèmes forestiers. Une nouvelle migration a commencé. Mais elle est très différente, plus lente, plus complexe.

ANTOINE KREMER,
GÉNÉTICIEN DES POPULATIONS À L'INRAE ET À L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX.

internationale publiée fin 2024, qui pointe un effet majeur de la pollution atmosphérique. Les retombées azotées issues des émissions de l'agriculture, de l'industrie et des transports ont modifié le sens de migration. Alors que l'on s'attendait à voir la flore des bois prendre la direction du nord, en l'espace de quarante ans, les deux tiers d'entre elles – dont des semis d'arbres tels que le sapin blanc, le charme et l'érable sycomore – se sont déplacées vers l'ouest, à une vitesse moyenne de 3,56 kilomètres par an. *« Ces espèces se développent davantage là où les dépôts d'azote restent en dessous des 30 kilos par hectare et par an, un seuil au-delà duquel l'azote ne stimule plus la croissance des arbres, mais au contraire la ralentit*, précise Jonathan Lenoir, coauteur de l'étude. *On s'attendait à trouver un signal lié au réchauffement climatique, mais cette pollution vient finalement modifier la distribution des espèces. »*

DÉSARMÉS

La nature semble déboussolée, ce qui rajoute à la difficulté de prédire la marche: les modèles de migration, eux non plus, ne suivent pas le rythme. *« Nous ne sommes pas complètement armés pour répondre à la question de la migration naturelle des espèces face au changement climatique »*, admet l'écologue forestière Ophélie Ronce, directrice de recherche à l'Institut des sciences de l'évolution de Montpellier. Jusqu'à aujourd'hui, 98% des publications relatives aux projections de migrations utilisent des modèles statistiques qui estiment la probabilité de présence d'une espèce pour un lieu et une projection de climat donnés. *« Ces modèles sont actuellement utilisés par l'ONF comme outil d'aide à la décision, mais ils ignorent beaucoup trop de choses sur la biologie des arbres »*, alerte l'écologue Isabelle Chuine, spécialiste des modèles et directrice de recherche CNRS au Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive de Montpellier. *« Au Canada, on estimait que l'érable pouvait migrer au travers de la forêt boréale jusqu'à la baie de James ou la baie d'Hudson. Mais on s'aperçoit aujourd'hui que la nature des sols, très acides dans ces forêts de conifères, joue un grand rôle »*, illustre Sergio Rossi. L'érable stagne au lieu de s'élancer vers le nord. Il est probable qu'il ne se déplacera pas, mais se densifiera en zone limite. *« On ne prend pas assez en compte la phase de régénération des arbres, depuis la dispersion des graines jusqu'aux premiers stades clés pour la colonisation »*, ajoute l'écologue forestier Inrae Georges Kunstler, au Laboratoire écosystèmes et sociétés en montagne de Grenoble.

QUELLE FORÊT PLANÉTAIRE EN 2100 ? LE DÉFI DU RÉCHAUFFEMENT

Le terreau est en train changer: d'ici à 2100, la plupart des zones bioclimatiques vont migrer vers le nord. Ces régions écologiques, définies par un climat spécifique, se décalent à mesure que les températures augmentent. Reste à savoir si les arbres vont suivre le rythme.

BIOMES FORESTIERS EN 2100

Forêts tropicales
Forêts arides
Forêts tempérées
Forêts froides
Forêts polaires

↑ Changements majeurs entre 1900 et 2100

SOURCE: H.E. BECK ET AL., *SCIENTIFIC DATA*, 2023

LÉA DESRAVAUD

LE CAS DES GRAINES

Photosynthèse, respiration, transpiration, phénologie, croissance… On réalise que les processus biologiques, physiologiques et écologiques des espèces conditionnent fortement la capacité des arbres à migrer, ou à rester sur place. *« Et on sait peu de choses sur la manière dont ces processus sont affectés par la température, par l'humidité, par le rayonnement, par la photopériode… »*, ajoute Isabelle Chuine. Les arbres et leur écosystème s'imposent tout à coup dans toute leur complexité. Quelle est par exemple l'influence de la dispersion des graines sur ces migrations? *« Des exercices de modélisation théorique montrent qu'il reste une probabilité non nulle d'avoir des événements de dispersion, certes très faibles, mais sur de très longues distances. Ce qui influence énormément les taux de migration »*, souligne Georges Kunstler. Une seule graine emportée par le vent ou par un cours d'eau suffit à transformer un lointain paysage.

UNE ÉTINCELLE, UN DOUTE

La fécondité des arbres, très sensible aux conditions environnementales, apparaît aussi très variable au sein d'un même espace bioclimatique. *« Elle est souvent plus forte dans la partie sud d'une aire de distribution que dans sa limite nord, ce qui constitue un frein aux dynamiques de migration »*, ajoute le chercheur.

Même les données historiques de la dernière glaciation apparaissent tout à coup simplistes par rapport à la réalité: on croyait les arbres européens réfugiés essentiellement autour du bassin méditerranéen, et voilà que de nouvelles mesures paléoécologiques révèlent aujourd'hui que les chênes, les épicéas et même certainement les bouleaux ont survécu beaucoup plus au nord, à la latitude de la Hongrie. *« L'histoire démographique des arbres est plus compliquée que prévu; ce qui implique de revoir à la baisse les vitesses de recolonisation postglaciation »*, souligne le généticien des populations à l'université d'Uppsala, Martin Lascoux.

Au point que, ces dernières années, une nouvelle question un peu inattendue s'est imposée dans les débats: et si les arbres, finalement, allaient rester? Et s'ils disposaient du matériel génétique nécessaire →

pour s'adapter et survivre sans bouger? Une étincelle, un doute, venu des modèles génétiques dit quantitatifs, qui déterminent les liens entre la diversité génétique des espèces et leurs caractéristiques biologiques. Ils ont par exemple démontré que les plantes qui dispersent leur pollen avec le vent, comme le chêne, pourraient survivre à un changement climatique plus rapide que prévu. *« Les populations locales disposent de la capacité de mélanger leurs gènes pour enfanter de jeunes individus qui parviendront à faire face. Ils ont aussi la possibilité de s'hybrider pour devenir plus tolérants à la chaleur,* décrit Ophélie Ronce. *Finalement, ce n'est pas parce que les espèces se déplacent lentement qu'elles sont proches de l'extinction. »*

SUPER-SÉLECTIONNÉS

La plasticité des arbres ne fait aucun doute. *« Chênes, épicéas, mélèzes, pins, érables, peupliers… développent des systèmes racinaires qui dépendent totalement de l'environnement dans lequel ils poussent, et notamment des conditions de sol, d'accès à l'eau, d'accès aux éléments nutritifs, de la densité du sol, de l'imperméabilité de certains niveaux dans le sol, etc. »*, illustre Michel Vennetier, ingénieur forestier et docteur en écologie à l'Inrae Aix-Marseille université. Mais au-delà de la plasticité, plusieurs données en génétique des populations confirment aussi que les populations en place sont capables d'évoluer rapidement. Notamment grâce à un taux de sélection énorme: il peut y avoir de 100 000 à 1 million de semis à l'hectare en une génération lorsqu'une forêt se renouvelle. *« Et plus cette ressource démographique est importante, plus la population peut évoluer. La majorité est éliminée, bien sûr. Mais ceux qui restent, qui s'en sortent, sont super sélectionnés »*, admire Antoine Kremer. Tous les caractères qui contribuent au fait qu'un arbre est bien adapté à son milieu dépendent d'un très grand nombre de gènes, réserve combinatoire quasi infinie pour trouver la meilleure adaptation. *« On surestime la vitesse de disparition des populations en place, et on sous-estime leurs capacités d'évolution*, renchérit Antoine Kremer. *Le regard évolutif me semble très important dans le contexte des crises qui nous concernent aujourd'hui. Durant les derniers cycles glaciaires-interglaciaires, il n'y a pratiquement pas eu d'extinction en Europe, en dépit d'écarts de température de plus de 8°C, chaud ou froid, et de manière successive. Le tri a été fait avant, à la transition entre le tertiaire et le quaternaire, quand les premières glaciations se sont mises en place. Les espèces qui étaient moins adaptées au froid ont été éliminées. Et celles qui sont restées, au contraire, ont été sélectionnées sur de longues échelles de temps, pour leur capacité à répondre à ces changements. »*

UNE MULTITUDE DE FACTEURS ENTRENT EN JEU

LA POLLUTION MODIFIE LES TRAJECTOIRES

En Europe, les chercheurs s'attendaient logiquement à une remontée vers le nord, en réponse au changement climatique. Or, les près de 3000 parcelles suivies depuis 1933 révèlent que 39 % de la flore des sous-bois se dirige de préférence vers l'ouest – contre 21 % vers l'est, 28 % vers le sud et seulement 12 % vers le nord. En cause: la pollution atmosphérique à l'azote qui fertilise artificiellement des sols.

LES SOLS PEUVENT STOPPER LE PROCESSUS

Champignons, composition chimique, pH… La marche des arbres est aussi conditionnée par la qualité des sols. Et leurs besoins varient en fonction des espèces. *« Pour certaines, comme l'érable, les sols acides de la forêt boréale sont une limite de colonisation »*, illustre l'écologue Sergio Rossi. *« À peine 20 % des champignons sont communs en France entre une communauté de sapins et une autre de chênes »*, ajoute le spécialiste des mycorhizes Francis Martin.

CERTAINS OBSTACLES RESTENT INFRANCHISSABLES

La migration se heurte à la civilisation. Partout dans le monde, la perte et la fragmentation des habitats dues aux changements d'utilisation des sols entravent la capacité des arbres à suivre la direction du front climatique. *« Haies bocagères, cours d'eau, zones humides… Il faut repenser les trames vertes et bleues qui permettent de lier les massifs forestiers et de faciliter le passage des vecteurs de dispersion »*, alerte Brigitte Musch, à l'ONF.

LA FAUNE SE DÉPLACE PLUS VITE

Oiseaux, petits mammifères, abeilles ou coléoptères sont autant de vecteurs de dispersion des graines et des pollens des arbres, qui suivent l'avancée du front climatique, et s'éloignent des forêts. *« Ça peut jouer en faveur ou en défaveur de la migration. Les vecteurs peuvent soit emporter graines et pollens avec eux, soit se reporter sur d'autres espèces plus au nord »*, estime l'écologue forestier Jonathan Lenoir.

LA QUESTION DES NICHES CLIMATIQUES

« Lors des migrations, on constate souvent que les marges nord se déplacent plus vite que les marges sud. C'est-à-dire que les espèces restent dans des zones dont on prédit qu'elles deviendront défavorables », pointe la biologiste de l'évolution Ophélie Ronce. Chaque population peut habiter une certaine gamme de conditions climatiques. Reste à comprendre l'étendue de cette capacité d'adaptation…

LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE RALENTIT LA MIGRATION

Parfois, les arbres s'adaptent pour rester, voire recoloniser d'anciens territoires. Comme les hêtres du mont Ventoux qui commencent à redescendre: en l'espace de trois ou quatre générations, la sélection a modifié leurs caractéristiques physiques et leurs gènes. *« Même si ça oblige les peuplements à passer par le dépérissement de certains, moins adaptés, une partie d'entre eux peuvent avoir les ressources génétiques »*, prévoit l'écologue forestier Ivan Scotti.

TOUT DÉPEND DE LA VITESSE DE DISPERSION DES GRAINES

Les espèces pionnières comme le bouleau, aux graines très légères et dotées de petites « ailes », se dispersent beaucoup plus vite que les chênes, par exemple. *« Le peuplier, les bouleaux ont des très petites graines, ils peuvent probablement se disperser sur des dizaines de kilomètres par le vent, facilement. Mais pour des espèces comme le chêne, l'érable, plusieurs conifères, c'est maximum un ou deux kilomètres »*, détaille l'écologue forestier Christian Messier.

« En regardant les données fossiles, on s'aperçoit que l'on connaît mal la niche climatique des espèces, admet Ophélie Ronce. *On en a potentiellement une idée très biaisée en regardant juste leur répartition actuelle. Ce qu'on voit dans le passé, ce sont effectivement beaucoup de remontées vers le nord dans les périodes de réchauffement; mais pas autant d'extinctions que ce que l'on pourrait imaginer dans les marges sud. À moins qu'il ne s'agisse de forêts zombies: des populations qui n'ont pas encore disparu mais qui n'en ont pas forcément pour très longtemps sur des échelles de temps longues… »*

LUEUR D'ESPOIR

Les écologues observent d'ailleurs que pour le chêne et le hêtre, les niveaux de fructification ne semblent pas affectés par le changement climatique. Au contraire, les arbres produisent plus de graines qu'ils ne le faisaient avant. Et l'étude génétique de trois cohortes de chênes sessiles issues de trois forêts différentes de l'ouest de la France et structurées par âge (340, 170 et 60 ans) enfonce le clou. Les résultats démontrent les fluctuations de la sélection et la réponse évolutive rapide des populations d'arbres aux transitions climatiques passées: on peut suivre les changements génétiques entre les périodes froides (la fin du petit âge glaciaire) et chaudes (le début de l'anthropocène); voir que les divergences adaptatives se sont produites à la fois sur de courtes périodes, dans des conditions environnementales très contrastées et sur de courts gradients écologiques. Le tout, au sein de populations stables à long terme.

SHUTTERSTOCK

« C'est ma petite lueur d'espoir personnelle vis-à-vis du changement climatique : au moins pour certaines espèces et dans certains cas, une partie des peuplements pourraient avoir les ressources génétiques nécessaires, même si ça les oblige à passer par le dépérissement des individus moins adaptés », confie l'écologue forestier Ivan Scotti, directeur de recherche Inrae. Il a d'ailleurs observé cette adaptabilité à l'œuvre sur les pentes du mont Ventoux, au fil de trois ou quatre générations de hêtres européens, un laps de temps très court pour les arbres.

QUESTION DE TAILLE

Reste qu'à très court terme, le tableau est effrayant. Les forestiers s'inquiètent : partout dans le monde, les dépérissements d'espèces s'accélèrent. *« Beaucoup sont causés par la sécheresse, les chaleurs extrêmes, les feux, les insectes, les maladies… »*, déplore l'écologue forestier Christian Messier. *« Les espèces sont incapables de suivre. On ne peut pas s'attendre à ce que les forêts se mettent à jour naturellement quand les changements ne sont pas naturels »*, martèle Sergio Rossi, qui envisage, aux côtés des gestionnaires forestiers, de donner un petit coup de pouce à la migration forestière. Plusieurs options sont sur la table : introduire aux côtés des espèces locales d'autres arbres issus de climats plus chauds ; ou translater une même espèce du sud vers le nord, au sein de son aire de répartition ; ou encore, de manière plus douce, laisser la forêt s'adapter en se contentant de favoriser l'émergence des jeunes pousses, et ainsi, le brassage génétique. *« Quand une forêt dépérit, ce n'est pas forcément parce que les espèces ne sont pas adaptées au climat. Ce sont les individus âgés qui ne sont plus adaptés aux conditions actuelles. Les gènes de tolérance au chaud, à la sécheresse n'ont pas forcément disparu, ils se sont juste raréfiés. Si on rajeunit ces peuplements, qu'on les régénère, qu'on les remet en compétition, les nouveaux individus pourront en bénéficier »*, argumente Michel Vennetier.

Tout semble finalement tenir à la taille des populations. Une étude menée sur la répartition de différentes espèces d'arbres à très petites aires, comparées à des aires plus grandes dans le sud-ouest de la Chine le confirme : plus les populations sont petites, plus la probabilité d'extinction est grande. Idem pour les espèces tropicales : celles qui sont en croissance sont celles qui sont aussi très répandues. *« Plus la population est grande, plus le taux de mutations qui entre en jeu est important*, souligne Martin Lascoux. *C'est quelque chose qui plaide plutôt en faveur d'espèces forestières aux régénérations importantes. » « Plein de phénomènes se télescopent »*, admet de son côté Michel Vennetier. Brigitte Musch s'inquiète : *« Nous sommes incapables de donner toutes les réponses. C'est un front de recherche et le temps nous est compté. »* La marche des arbres a commencé, mais personne ne sait pour l'instant où ils vont.

LE DILEMME DE LA MIGRATION ASSISTÉE

Faut-il accélérer la marche des arbres ? Faut-il aider les forêts à bouger pour les sauver ? Au risque de mettre le doigt dans des phénomènes impossibles à maîtriser et potentiellement catastrophiques ? C'est peu dire que le débat est vif entre les chercheurs. D'un côté, cette migration assistée a déjà commencé. En France, par exemple, depuis 2016, l'ONF expérimente la technique sur plus de 500 « îlots d'avenir » : des petites parcelles de 0,5 à 2 hectares sur lesquelles sont plantées des espèces destinées à remplacer celles dont les modèles projettent l'extinction. Des arbres issus du sud du pays, comme le chêne pubescent ; du sud de l'Europe, comme le sapin de Turquie ; voire d'autres continents, à l'image du cèdre blanc de Californie. Mais les spécialistes alertent sur les effets collatéraux liés au déploiement à grande échelle de ces solutions. *« Il y a un effet contre-intuitif. En introduisant des espèces plus économes en eau, on alimente une boucle qui limite sa circulation et empêche le refroidissement local du système, ce qui aura des impacts sur le fonctionnement climatique global »*, prévient l'écologue Jonathan Lenoir. Autrement dit, le risque est d'amplifier le phénomène contre lequel on lutte. *« Et si on en vient à faire migrer des espèces de plus de 1 000 km, on n'est pas loin de l'introduction d'espèces exotiques et on commence à avoir des changements majeurs sur le fonctionnement des écosystèmes »*, poursuit-il. La migration par flux de gènes apparaît comme une solution plus modérée. Il s'agit de déplacer une même espèce au sein de son aire de répartition, du sud vers le nord, en espérant une hybridation entre les deux populations, celle du sud apportant ses gènes plus résistants à la sécheresse et à la chaleur. *« Mais on oublie une chose*, alerte l'écologue forestière Ophélie Ronce. *Quand on déplace des génotypes dans l'espace, on casse les corrélations qu'il y a entre la photopériode et le climat. Si on déplace des arbres du sud au nord, ils fleuriront à des périodes complètement différentes de ceux en place. Ce qui rend les croisements impossibles… »*

« Les forestiers suédois font ça depuis des décennies pour des questions de rendement, rétorque le généticien des populations Martin Lascoux. *Pour accroître la croissance de l'épicéa, on le monte au nord de 3 à 4° de latitude ; en revanche, le pin sylvestre n'aime pas être déplacé. On sait que parfois ça marche, parfois non. Mais on ne connaît pas les règles pour toutes les espèces. »*

SHUTTERSTOCK - MANON GENIN/ONF

Un « îlot d'avenir » géré par l'ONF.

Pour aller encore plus loin

Un reportage
Immersif. « Ils nous emportent avec eux : la grande migration des arbres », sur //emergence-magazine.org/feature/they-carry-us-with-them/.

Une conférence
Instructive. Avec le généticien des populations Antoine Kremer : « Forêt d'ici et d'ailleurs, d'hier et de demain ». Sur YouTube.

Une publication
Éloquente. Cette méta-analyse pointe l'inertie du végétal dans un monde qui se réchauffe. www.nature.com/articles/s41559-020-1198-2

Un webinaire
Anticipateur. Adaptation des arbres aux changements climatiques : le biologiste Stéphane Maury dévoile la piste de l'épigénétique. Sur YouTube.