

# Comprendre la dispersion des espèces dans l'espace et dans le temps : un défi pour les biogéographes

Nadir Alvarez et Anahí Espíndola

De tout temps, l'homme s'est interrogé sur les facteurs qui régissent la distribution des espèces. Comment se dispersent-elles ? Comment occupent-elles un milieu ? Pourquoi certaines caractéristiques biologiques d'une même entité spécifique varient-elles en différents points de l'espace ? Pour répondre à ces questions, il faut faire appel à de nombreuses disciplines scientifiques, telles que l'écologie, la géologie, la climatologie ou la paléontologie. Comprendre la distribution spatiale de la vie, quel que soit le niveau taxonomique, tel est l'objectif de la biogéographie.

Georges Buffon en pose les bases en 1761, en formalisant le fait que différentes régions, bien que pouvant présenter des environnements similaires, comprennent des plantes et des animaux distincts. Un peu moins d'un siècle plus tard, Carl von Linné inscrit ces patrons de distribution dans un canevas conceptuel en proposant, dans une logique fixiste, que tous les organismes proviennent d'un lieu unique, le jardin d'Eden, représenté par une île montagneuse au sein d'un océan originel.

Co-fondateur de la théorie de l'évolution avec Charles Darwin, Alfred Wallace est le premier à replacer la biogéographie dans une perspective scientifique : en 1848, il voyage en Amazonie et en Asie du Sud-Est, en examinant minutieusement la répartition des espèces qu'il recense, tout en étant attentif à la configuration des montagnes et des rivières, et montre que ces dernières définissent de manière remarquable les limites des distributions de nombreuses espèces. Comprendre les processus ayant abouti aux distributions actuelles des espèces devient alors une question fascinante pour les scientifiques.

Cependant, les notions de l'époque rendent compliquée l'interprétation des patrons de distribution des espèces. Darwin lui-même écrit en 1859

qu'il existe de nombreux cas où il est extrêmement difficile de comprendre comment une même espèce a pu migrer d'un point à un autre, en particulier dans les cas d'espèces à distributions disjointes. Darwin est alors interpellé par la simplicité d'une vision où chaque espèce aurait été produite dans une seule région. En 1876, Wallace publie «La distribution géographique des animaux», ouvrage dans lequel il montre que des facteurs, notamment liés à la topographie et à l'hydrographie, régissent la répartition spatiale d'espèces écologiquement similaires qu'on s'attendrait à trouver dans les mêmes milieux. C'est également dans ce livre que Wallace définit pour la première fois les grandes régions biogéographiques, et met en évidence une discontinuité substantielle dans la distribution des espèces animales le long d'une ligne passant à l'est de Bornéo et Java et au sud des Philippines : la fameuse ligne de Wallace (Fig.1).

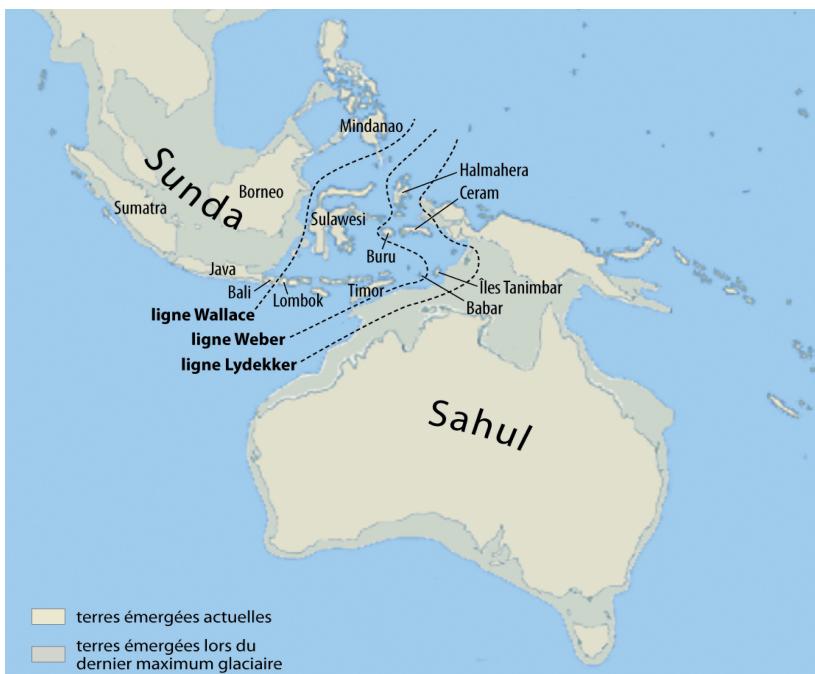


Figure 1. Carte géographique de la région australasienne sur laquelle est indiquée la ligne de Wallace, qui divise les faunes asiatique et australienne. On peut également observer sur la carte l'extension probable des terres émergées lorsque la limite des eaux était cent dix mètres plus basse qu'aujourd'hui, à différentes périodes du quaternaire : on constate qu'alors que bon nombre d'îles ont été reliées par la terre et ont pu partager une faune similaire (sur le Sunda au nord-ouest et le Sahul au sud-est), ce n'est pas le cas des terres situées le long de la ligne de Wallace. Les lignes de Lydekker et de Weber sont des hypothèses alternatives à la ligne de Wallace, cette dernière ayant été essentiellement établie sur la base de l'ordre des coléoptères. Les trois lignes représentent donc des discontinuités pertinentes pour différents groupes biologiques. Crédit photographique : Wikipedia (GNU FDL, copyright).

A cette époque, toute la théorie biogéographique repose sur le concept « dispersaliste » : un groupe d'espèces affines, ou de lignées proches au sein d'un même taxon, évolue dans une aire restreinte, son « centre d'origine », et atteint sa distribution actuelle en se dispersant à partir de celui-ci. Tirant avantage de l'existence d'un laboratoire naturel pour étudier la dispersion à l'occasion de l'éruption du Krakatoa en 1883 qui a détruit toute trace de vie animale et végétale sur l'île de Rakata (en actuelle Indonésie), plusieurs botanistes européens étudient l'histoire du repeuplement graduel par la faune et la flore de cette île du sud-est asiatique, et montrent l'importance des phénomènes dispersifs dans la recolonisation : en moins de cinq ans, plus de vingt espèces de plantes dispersées via les airs et les mers ont déjà recolonisé l'île de Rakata (Bordage, 1916).

Il faut tout de même attendre 1915 pour que les interrogations de Darwin trouvent enfin une réponse : Alfred Wegener, fasciné par la découverte de fossiles identiques de plantes et d'animaux des deux côtés de l'Atlantique, propose que l'Ancien et le Nouveau Monde aient été autrefois connectés. S'en suit la formalisation de sa théorie de la tectonique des plaques, qui permet aux biogéographes de développer le concept de vicariance : au cours d'un processus de vicariance d'une lignée ancestrale couvrant une large distribution spatiale, la population de chaque secteur géographique évolue vers un nouveau taxon ; dans le concept de vicariance, il n'y a pas de centre d'origine et pas de dispersion, bien que des phénomènes de contraction ou d'expansion d'aires de distribution se produisent.

Dispersion et vicariance sont les deux concepts fondateurs de la biogéographie moderne qui, aujourd'hui encore, permettent d'expliquer la distribution des lignées et des espèces. Ils sont complétés par les apports de Ernst Mayr, qui montre au milieu du XX<sup>e</sup> siècle que les processus aboutissant à la spéciation des lignées se produisent dans un contexte d'isolement géographique, qu'il soit lié à la dispersion ou à la vicariance.

Un des cas d'école de spéciation par vicariance est celui des ratites (ou paléognathes), un groupe comprenant tous les oiseaux « non-volants » herbivores associés aux milieux ouverts. Des études phylogénétiques récentes ont en effet montré que les autruches, les kiwis, les nandous, les émeus et autres casoars forment un groupe « vrai » du point de vue de l'évolution moléculaire, alors même que leur divergence date d'environ cent millions d'années, avant la rupture du supercontinent gondwanien, que leur ancêtre commun avait largement colonisé (Haddrath & Baker, 2001). Suite au détachement progressif de l'Afrique, de l'Amérique du Sud et de l'Australie, les populations qu'il comprenait se sont retrouvées isolées, conduisant à un processus de spéciation qui a abouti à la diversité et à la distribution que l'on rencontre aujourd'hui chez les paléognathes (Fig.2).

*Figure 2.*

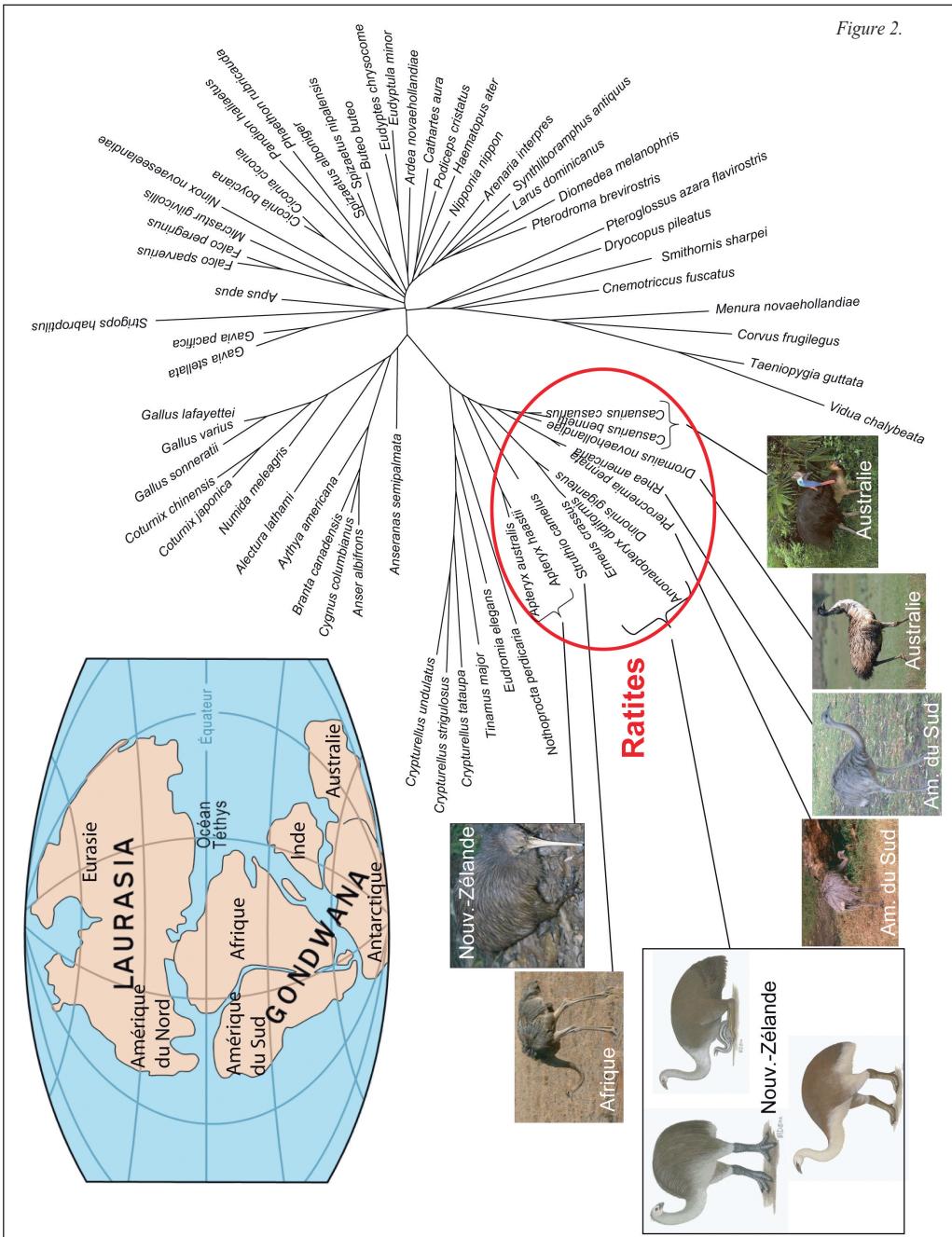


Figure 2. Phylogénie non-racinée d'un échantillonnage représentatif de la diversité mondiale des oiseaux, basée sur la comparaison par méthode de distance du gène mitochondrial codant pour la protéine cytochrome b. Les ratites forment un groupe unique (encerclé en rouge et qualifié de monophylétique dans la phylogénie racinée équivalente), dont chaque lignée s'est maintenue sur un des continents issus de la fragmentation du supercontinent gondwanien. A noter que les trois espèces de ratites néo-zélandaises encadrées (*Anomalapteryx didiformis*, *Dinornis giganteus*, *Emeus crassus*) sont aujourd'hui éteintes. Crédit photographique : Wikipedia (GNU FDL, copyright).

De nos jours, la biogéographie s'intéresse à comprendre la distribution des lignées, à différents niveaux taxonomiques ou évolutifs : des lignées aux familles, en passant évidemment par le niveau de l'espèce. On distinguerà la recherche s'attachant à comprendre l'histoire évolutive de lignées à l'intérieur d'une espèce comme faisant partie d'une discipline récente de la biogéographie, la phylogéographie, qui utilise essentiellement les inférences moléculaires de la structuration de la diversité génétique (voir ci-dessous).

La biogéographie s'intéresse ainsi aux réponses de taxons à une échelle de temps compatible avec l'échelle taxonomique investiguée ; par exemple, l'étude de l'histoire biogéographique des lignées d'une famille botanique requiert la connaissance de différents scénarios concernant la tectonique des plaques au cours du tertiaire ; à l'autre extrémité du continuum, les études phylogéographiques utilisent comme canevas les fluctuations climatiques du quaternaire (qui commence il y a 2,6 millions d'années et se poursuit jusqu'à aujourd'hui), qui ont profondément modifié, de manière récurrente, la distribution des taxons sous nos latitudes.

Les analyses phylogéographiques sont par ailleurs aujourd'hui de plus en plus indissociables de l'investigation d'une composante forte de l'écologie, à savoir la niche écologique des espèces étudiées.

## Le concept de niche écologique et son influence dans la distribution des espèces

Chaque espèce occupe une place bien définie au sein des communautés vivantes. Pour pouvoir survivre, ses représentants ont besoin de certaines conditions environnementales particulières qui lui permettront de se développer et de se reproduire. Elles sont essentiellement définies par les aptitudes physiologiques d'une espèce, et donc par des besoins spécifiques en termes de ressources et d'interactions environnementales.

Toutes ces conditions représentent le concept de *niche écologique*, propre à chaque espèce. C'est en 1927 que Charles Elton le définit

formellement comme l'ensemble des conditions biotiques et abiotiques nécessaires à la survie d'une espèce.

Les facteurs abiotiques comprennent les variables associées à la composante non-vivante de l'environnement. Parmi ceux-ci, les facteurs climatiques sont prépondérants : chaque espèce terrestre est associée à des conditions de température et de précipitations dans lesquelles elle peut se développer (par exemple, sa température minimale de survie). D'autres facteurs sont également très importants, comme par exemple les besoins en eau et en lumière, ou la tolérance au rayonnement ultraviolet.

Les facteurs biotiques sont quant à eux définis par l'interaction d'une espèce avec toutes celles qui facilitent ou portent un préjudice à la survie, ce qui inclut en particulier les organismes présents aux niveaux supérieur et inférieur de sa chaîne trophique, mais aussi tous les organismes qui permettent sa reproduction, sa dispersion, de même que ceux qui influencent de manière directe ou indirecte son environnement abiotique.

En 1957, George Hutchinson précise la définition de la niche écologique, en la décrivant comme un hyper-volume à  $n$  dimensions. Un organisme donné pourra donc assurer sa survie, si et seulement si toutes les conditions définies par sa niche écologique sur les  $n$  axes qui la définissent sont réunies, c'est-à-dire si en un lieu donné sa niche écologique est réalisée. Néanmoins, le fait que les conditions soient réunies dans un espace donné pour permettre à une espèce de se développer ne signifie pas nécessairement qu'elle s'y trouve : son histoire a peut-être restreint sa dispersion ou son expansion, à cause de barrières géographiques, ou simplement par le hasard des processus démographiques.

On constate donc qu'il existe un lien intangible entre biogéographie et niche écologique. Même si les premières études de niche visaient à comprendre les conditions assurant la survie des espèces, il est devenu vite évident qu'un changement dans l'environnement d'une espèce pourrait influencer sa distribution, modifiant ainsi sa niche réalisée et changeant les aires potentielles où elle pourrait se disperser ou s'étendre.

Cette idée d'une niche spatialement dynamique permet de replacer le changement de la distribution des niches réalisées en fonction de l'espace et du temps ; par conséquent, il devient possible d'estimer la variation dans la distribution des organismes en fonction de changements climatiques passés ou à venir. Les espèces n'étant pas des entités statiques, elles ont toutes la capacité de répondre à ces changements en se dispersant vers un milieu approprié et/ou en s'adaptant aux nouvelles conditions ; dans le cas contraire, elles s'éteindront. Alors que la dispersion est un processus relativement rapide, l'adaptation biologique se produit sur des échelles de temps plus importantes.

Maintenant que le décor est planté et que les différents processus associés aux patrons biogéographiques ont été abordés, voyons plus en détail comment les changements climatiques et géologiques modifient la destinée des espèces.

## Effets des changements climatiques sur la distribution des organismes

La période du quaternaire a été le théâtre de changements climatiques cycliques importants, qui ont fluctué entre périodes glaciaires et interglaciaires. Ces périodes sont aujourd’hui expliquées par l’interaction entre forces orbitales et forces tectoniques. Les premières sont connues sous l’appellation des cycles de Milankovitch et associées à des changements de la position de l’axe et de la forme de l’orbite planétaire autour du soleil, entraînant des variations temporelles importantes du niveau de radiation solaire arrivant à la surface de la planète en un point donné (Milankovitch, 1920).

Pour avoir une influence sur le climat, ces cycles doivent bénéficier d’une conformation des continents adéquate, au sein de laquelle les gradients de température peuvent s’exprimer sur les océans et les terres émergées.

La période que nous traversons actuellement, l’holocène, est un interglaciaire chaud, qui fait suite à une glaciation longue d’environ cent mille ans, connue sous le nom de Würm au nord des Alpes, ou de Wisconsinian en Amérique du Nord (Sirocko et al., 2007), qui a vu son dernier maximum glaciaire (DMG, ou Last Glacial Maximum, LGM en anglais) atteint il y a environ vingt-trois mille ans.

Cette période a eu un effet extrêmement important dans la distribution des biomes de l’hémisphère nord, en particulier en Europe, en raison d’une quantité relativement importante de terres exposées et proches des pôles dans cette région : le nord de l’Europe, à partir du nord de l’Allemagne actuelle et une bonne partie des îles Britanniques, était complètement recouvert par la calotte glaciaire polaire lors du DMG.

Par ailleurs, les glaciers de type alpin ont atteint une taille importante lors de cette période et recouvrèrent une partie non négligeable des zones montagneuses du sud et du centre de l’Europe. En outre, la limite du permafrost atteignait le centre de l’Europe, aux alentours du parallèle de 47° de latitude, marquant la limite méridionale des milieux steppiques et de toundra (Willis & Van Andel, 2004). Etant donné qu’une partie importante de l’eau était emmagasinée sous forme de glace, le niveau des

mers est globalement descendu de plusieurs dizaines de mètres, asséchant notamment la Manche et l'Adriatique, permettant une communication directe entre les côtes.

Au niveau climatique, la période est caractérisée par des températures basses et par une grande sécheresse, ainsi que par la présence de vents froids provenant des zones glacées du Nord. Les zones côtoyant l'Atlantique étaient traversées par d'importants vents froids, comme l'atteste la température moyenne des surfaces marines entre 1 °C – 2 °C. A l'inverse, les zones proches de la Méditerranée présentaient des conditions moins rigoureuses dues à la proximité de cette mer intérieure, qui amenait de la chaleur et de l'humidité.

Alors que les espèces européennes tempérées ou thermophiles ont vu leur environnement devenir hostile à leur survie au cours du DMG, et n'ont pu survivre que dans les régions marginales des péninsules du sud de l'Europe, les espèces arctiques-alpines ont connu un scénario très différent. Ces espèces, aujourd'hui confinées à des distributions marginales à de hautes altitudes ou latitudes, ont alors pu occuper une bonne partie de la steppe et de la toundra qui recouvriraient presque la totalité de l'Europe (Stewart et al., 2010).

Les changements distributionnels ont été associés à de profondes modifications dans la dynamique démographique et la structuration génétique des espèces. C'est notamment le cas pour les espèces arctiques-alpines, qui après avoir recouvert des surfaces continues sur le continent européen, se retrouvent dans des régions isolées, sans communications entre elles, et sujettes à des processus de vicariance.

Ces processus peuvent notamment être étudiés grâce à des régions particulièrement variables de l'ADN. Ceci a été réalisé sur de nombreuses espèces emblématiques des Alpes, comme par exemple la renoncule de Küpfer, chez laquelle des chercheurs de l'Université de Neuchâtel ont démontré que le morcellement des populations ayant eu lieu au cours des oscillations climatiques du pléistocène a entraîné une forte isolation d'au moins deux lignées par rapport à l'ensemble de l'aire de distribution de l'espèce, respectivement dans les Alpes Maritimes et dans le Vercors (Figure 3 ; Burnier et al., 2009). Ces lignées isolées sont restées associées à des massifs montagneux particuliers, autour et au sein desquels elles ont survécu et se sont maintenues au cours des différentes périodes glaciaires et interglaciaires du pléistocène.

D'autres lignées, ayant eu davantage de succès dans leur dispersion, ont pu recoloniser les Alpes lorsque les glaciers se sont progressivement retirés ; les lignées ayant eu le meilleur succès de dispersion ont même colonisé la Corse, à une époque où le niveau des mers était vraisemblablement bien plus bas qu'aujourd'hui.

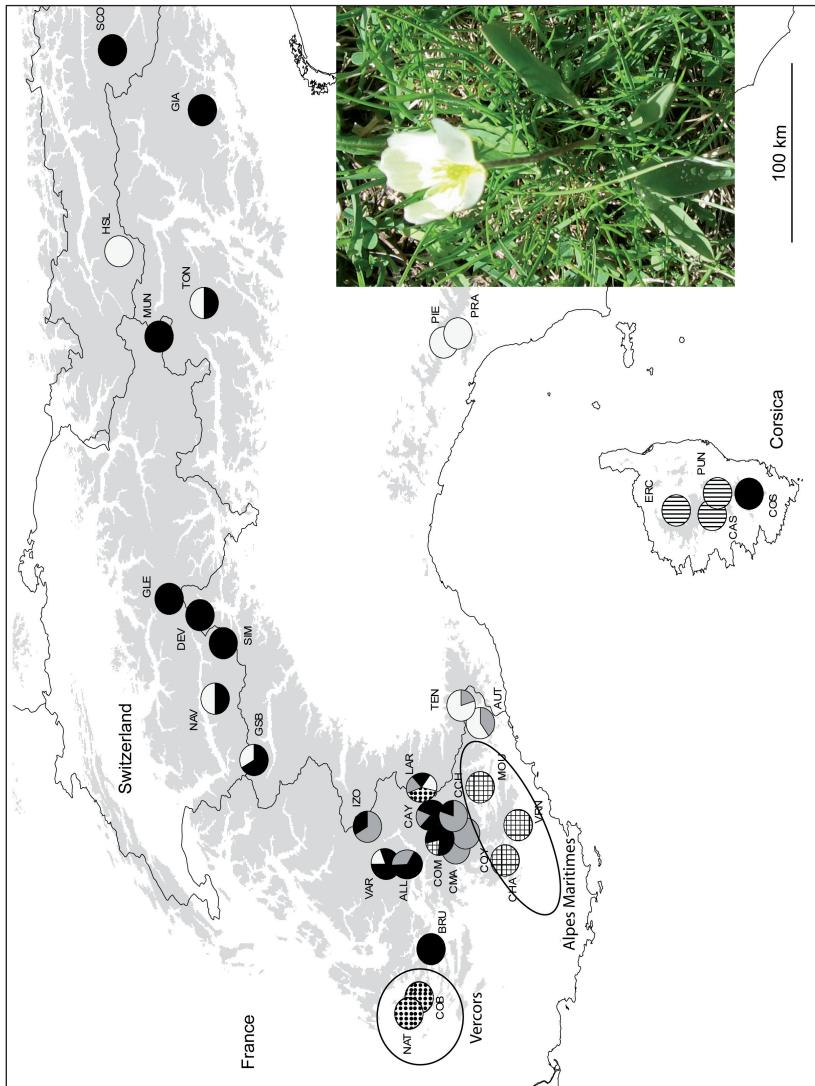


Figure 3. Distribution spatiale des six lignées principales, représentées par différents motifs, de la renoncule de Küpfer (en photo dans l'encadré), sur la base de l'analyse de deux fragments de l'ADN chloroplastique. Chaque population étudiée inclut d'une à quatre lignées différentes représentées en proportion de leur fréquence sur les diagrammes circulaires (ou camemberts). Les régions du Vercors et des Alpes Maritimes sont peuplées par deux lignées endémiques, de même que le nord de la Corse. Le sud de la Corse, quant à lui, partage la même lignée qu'une majeure partie des Alpes. Crédit photographique : Wikipedia (GNU FDL, copyright) et Julien Burnier pour la carte de structuration génétique spatiale.

Bien évidemment, les patrons phylogéographiques mis en évidence présentent en général une faible résolution, et il est rare de pouvoir inférer les processus démographiques et génétiques avec une grande précision. Dans le cas de certaines espèces où des restes fossiles bien conservés ont pu être retrouvés, il est cependant possible d'augmenter le niveau de détail des inférences par plusieurs degrés de magnitude.

C'est notamment ce qu'a montré une étude récente sur la structuration génétique pré- et post-glaciaire du renard polaire (*Alopex lagopus*) (Dalén et al., 2007). Le renard polaire a actuellement une distribution pérarctique, mais au cours du DMG, il a occupé toute la steppe glaciaire. Afin de connaître l'impact des contractions distributionnelles liées à la fin de la dernière période glaciaire sur la distribution de la diversité génétique actuelle de cette espèce, les chercheurs ont analysé et comparé des données génétiques actuelles et anciennes, basées sur les fossiles bien conservés de cette espèce à travers le continent européen.

Ils ont montré que plusieurs lignées génétiques ayant existé pendant les périodes glaciaires ont été perdues lors des contractions distributionnelles liées à la fin des glaciations. Ceci indique que lorsque les changements environnementaux ont forcé les populations de renards polaires à quitter la steppe européenne pour rejoindre de plus hautes latitudes ou altitudes, certaines n'ont pas été capables de suivre les conditions associées à leur niche écologique, et se sont éteintes. Cependant, contrairement au mammouth qui s'est éteint définitivement à cette époque, le renard polaire a, quant à lui, survécu en se maintenant dans différents refuges, au prix d'une importante perte de diversité génétique.

Cette étude, comme tant d'autres, démontre que des contractions de la distribution des espèces peuvent induire une perte importante de la diversité.

## Effet des changements géologiques sur la distribution des organismes

De la même façon que les changements climatiques influencent la distribution des espèces, des changements géologiques (p. ex., apparition de montagnes, disparition de mers, apparition d'îles, etc.) modifient le nombre de surfaces colonisables et les barrières physiques à la dispersion. Nous avons notamment vu plus haut la trajectoire évolutive des ratites, dont les lignées ont été divisées et se sont différenciées sur les différents fragments continentaux issus du Gondwana.

A une échelle plus récente, un groupe de recherche de l'Université de Neuchâtel s'est intéressé à l'effet des changements de conformation de l'Europe et des territoires voisins, sur la variation de la distribution des différentes espèces du genre périméditerranéen *Arum* L., qui comprend les espèces bien connues *A. italicum*, l'arum d'Italie, et *A. maculatum*, le gouet tacheté (Espíndola et al., 2010).

Lors de cette étude, les biologistes ont cherché à comprendre quand et depuis quelles régions la colonisation de l'aire péri-méditerranéenne actuelle a eu lieu. A cette fin, des études génétiques ont été entreprises sur la quasi-totalité des espèces du genre, afin d'inférer leurs relations phylogénétiques. A l'aide de méthodes biogéographiques probabilistes et en considérant la structure des arbres phylogénétiques, les régions les plus probables d'origine de chaque espèce et groupe ont été identifiées. En tenant compte du fait que les longueurs de branche d'un arbre phylogénétique sont proportionnelles au temps écoulé depuis l'apparition de chacune d'entre elles (selon l'hypothèse de l'horloge moléculaire), les chercheurs ont pu dater l'arbre, et par conséquent non seulement définir la zone géographique d'origine de chaque groupe, mais aussi dater l'origine de ces groupes.

Les résultats ont démontré que le genre *Arum* est probablement apparu pendant le miocène (il y a environ vingt millions années) dans la région des Balkans. Dès lors, il s'est dispersé vers l'Anatolie (actuelle Turquie), qui était alors clairement reliée aux Balkans. Lors de la fermeture de la Téthys (mer ancestrale de la Méditerranée actuelle, qui s'étendait vers l'est jusqu'au Pacifique), un « pont » terrestre est apparu avec l'actuelle région arabique (allant du sud de la Turquie, et occupant la partie ouest du Moyen Orient), ce qui a permis des colonisations importantes de cette région.

Finalement, pendant des périodes plus récentes, la colonisation de l'Afrique du Nord a été possible à partir du Moyen Orient grâce au rapprochement des côtes du détroit de Suez et probablement à la communication terrestre possible entre le sud de l'Italie et le nord de la Tunisie, alors que les événements de dispersion continuèrent depuis les Balkans et vers l'Anatolie.

Dans cette étude, les chercheurs ont démontré que la fréquence et la direction des événements de dispersion au sein du genre *Arum* sont en lien étroit avec l'histoire géologique de la mer Méditerranée. Ainsi, c'est seulement quand les mouvements des plaques continentales présentes dans cette région ont permis un contact direct entre les différentes zones que la dispersion et la vicariance ultérieure sont devenues possibles.

## Que nous apprend la biogéographie des espèces sur le futur ?

Les exemples présentés ci-dessus représentent quelques-uns des nombreux cas investigués par les biologistes. Il est donc aujourd’hui indéniable que des changements dans l’environnement passé des espèces ont eu une influence directe sur leur distribution, leur survie et leur diversification. Nous pouvons maintenant nous demander comment intégrer ces études dans le contexte de variation climatique lié aux activités humaines que notre planète subit actuellement.

Depuis quelques années, les scientifiques ont lancé des appels multiples au niveau international pour faire savoir que des variations rapides dans les températures moyennes annuelles et dans les régimes de pluies, ainsi que des réductions importantes dans le volume des glaces éternelles (les glaces qui ne fondent pas pendant l’été), sont des indicateurs irréfutables d’une modification climatique importante depuis plusieurs dizaines d’années. Bien que ça ne soit pas la première fois que la planète expérimente des températures aussi élevées, c’est le *taux de rapidité* du changement qui inquiète.

En effet, l’histoire de la Terre a vu bien des variations climatiques, qui se sont étendues sur des durées de plusieurs milliers, voire millions d’années. Cette différence dans la vitesse du changement actuel peut paraître minime, mais elle peut avoir un effet néfaste sur la survie des organismes. Comme nous l’avons vu, des variations des conditions environnementales peuvent affecter les espèces en les forçant à se disperser vers de meilleurs milieux, à s’adapter ou à s’éteindre.

Dans un milieu non-anthropisé et à une échelle de temps importante, les chances sont grandes pour qu’une espèce incapable de se disperser rapidement puisse s’adapter aux nouvelles conditions : le changement environnemental se ferait à une échelle temporelle permettant à la sélection et à la variation intraspécifique de développer des caractères adaptés au nouvel environnement. Par ailleurs, même des espèces peu aptes à la dispersion peuvent, lors d’événements rares, être emportées par des courants aériens ou marins, et franchir une grande distance d’un seul coup. Par conséquent, même si les extinctions ont jalonné l’histoire biogéographique de la vie depuis des millions d’années, le nombre d’espèces pouvant se disperser ou s’adapter (ou les deux) est en général resté assez élevé.

Au contraire, les conditions dans lesquelles les changements actuels ont lieu sont bien différentes et il est certain que les espèces ont aujourd’hui plus de difficultés à se disperser que dans le passé, en raison de la fragmentation actuelle des habitats générée par l’action humaine (intensification des pratiques agricoles, extension de l’urbanisation et des voies

de communication). Cette haute fragmentation empêche notamment l'établissement de corridors de migration importants entre les différentes zones géographiques occupées par une même espèce, un élément clé pour la survie à long terme.

En outre, comme les changements environnementaux sont trop rapides, cela diminue les chances d'adaptation de la majorité des espèces, car les processus évolutifs qui ont produit la diversité biologique actuelle et générée l'adaptation des populations ont peu de chance de se produire à une si faible échelle temporelle.

Il est alors censé de se demander quelles sont les chances de survie des espèces présentes actuellement sur notre planète. Des prédictions obtenues par la modélisation de la distribution future de différents taxons sous des conditions climatiques attendues pour le futur proche indiquent que la distribution des espèces se déplacerait dans l'hémisphère nord vers le Nord et vers des altitudes de plus en plus hautes. Il est évident que, si la remontée des températures ne s'arrête pas dans le futur proche, il n'y aura plus de territoires à disposition pour des espèces par exemple associées à des milieux de haute montagne ou à des environnements arctiques.

Pour terminer ce chapitre, il est capital de comprendre, lorsque nous débattons du changement climatique, que même si un pourcentage extrêmement élevé d'espèces disparaît suite à l'action anthropique, cela ne signifiera pas la fin de la vie sur notre planète. Par contre, cela sera synonyme d'une diminution de nos chances de survie, car nous avons nous aussi une niche écologique, qui est profondément liée aux espèces qui nous entourent (en particulier pour notre alimentation, notre habitation et notre protection contre les catastrophes naturelles).

Quelle sera alors notre capacité d'adaptation à ce nouvel environnement ? Où allons-nous nous disperser lorsque notre milieu n'assurera plus nos besoins de survie ? Allons-nous disparaître ? Allons-nous nous adapter ? Oui, à condition que notre action sur l'environnement n'excède pas un seuil critique, au-delà duquel notre espèce subirait une contraction fatale de son aire de distribution, l'empêchant de retrouver le fil de sa niche écologique.

Nadir Alvarez est depuis décembre 2004, docteur des Universités de Montpellier et Neuchâtel. Après avoir, au cours de sa thèse, étudié la structuration de la diversité génétique d'un genre de coléoptères inféodé à la région tropicale du Nouveau Monde, il s'est focalisé sur la compréhension des patrons biogéographiques associés à l'histoire d'espèces au sein des communautés terrestres européennes. Après avoir été maître-assistant à l'Université de Neuchâtel pendant cinq ans, il bénéficie depuis mars 2010, d'une bourse du Fonds National Suisse, pour mener ses recherches à l'Université de Lausanne, également en tant que maître-assistant. Le nouvel objectif de son projet est d'utiliser les techniques de séquençage de l'ADN dites de nouvelle génération, pour inférer les histoires biogéographiques et phylogéographiques de différentes espèces de plantes et d'insectes en interaction.

Anahí Espíndola est docteur de l'Université de Neuchâtel. Au cours de sa thèse, soutenue en novembre 2010, elle s'est intéressée à comprendre comment les interactions spécifiques entre plantes et insectes pollinisateurs évoluaient au cours du temps. Elle s'intéresse d'une manière générale à comprendre la mise en place et le maintien de processus coévolutifs au sein des communautés, à différentes échelles de temps et d'espace. Elle poursuit désormais ses recherches à l'Université de Lausanne, où depuis janvier 2011, elle est associée au projet de Nadir Alvarez en tant que post-doctorante.

## BIBLIOGRAPHIE

- BORDAGE, E (1916), Le repeuplement végétal et animal des îles Krakatoa depuis l'éruption de 1883. Annales de Géographie, Paris.
- BURNIER, J. ; BUERKI, S. ; ARRIGO, N. ; KUPFER, P. ; ALVAREZ, N. (2009), Genetic structure and evolution of Alpine polyploid complexes : *Ranunculus kuepferi* (Ranunculaceae) as a case study. Molecular Ecology 18 : 3730-3744.
- DALEN, L. ; NYSTROM, V. ; VALDOSERA, C. ; GERMONPRE, M. ; SABLIN, M. ; TURNER, E. ; ANGERBJORN, A. ; ARSUAGA, J. L. ; GOTHERSTROM, A. (2007), Ancient DNA reveals lack of postglacial habitat tracking in the arctic fox. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 104 : 6726-6729.
- ELTON, C. S. (1927), Animal ecology. Sidgwick and Jackson, London.
- ESPINDOLA, A. ; BUERKI, S. ; KUPFER, P. ; BEDALOV, M. ; ALVAREZ, N. (2010), New insights into the phylogeny and biogeography of *Arum* L. (Araceae) : Unravelling its evolutionary history. Botanical Journal of the Linnean Society 163 : 14-32.
- HADDRATH, O. ; BAKER, A. J. (2001), Complete mitochondrial DNA genome sequences of extinct birds : ratite phylogenetics and the vicariance biogeography hypothesis. Proceedings of the Royal Society of London B 268 : 939-945.

- HUTCHINSON, G. E. (1957), Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology 22 : 415-427.
- MILANKOVITCH, M. (1920), Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. Gauthier-Villars, Paris.
- SIROCKO, F. ; CLAUSSEN, M. ; SANCHEZ GONI, M. F. ; LITT, T. (2007), The climate of past interglacials. Developments in Quaternary science 7 (series editor : J.J.M. van der Meer). Elsevier Press, Amsterdam.
- STEWART, J. R. ; LISTER, A. M. ; BARNES, I. ; DALEN, L. (2010), Refugia revisited : Individualistic responses of species in space and time. Proceedings of the Royal Society of London B 277 : 661-671.
- WALLACE, AR (1876), The geographical distribution of animals, with a study of the relations of living and extinct faunas as elucidating the past changes of the Earth's surface. Harper and Brothers, New York.
- WILLIS K. J. & VAN ANDEL T.H. (2004), Trees or no trees ? The environments of central and eastern Europe during the Last Glaciation. Quaternary Science Reviews 23 : 2369-2387.