

Biodiversité en crise et adaptation

Par Pierre-Olivier CHEPTOU

CEFE UMR 5175, CNRS, Université de Montpellier, Université Paul-Valéry

La crise actuelle de la biodiversité est un objet de préoccupation pour les sociétés humaines, en particulier du fait des services écosystémiques rendus par les espèces. Paradoxalement, les crises biologiques sont des périodes de renouveau, d'adaptation rapide de la biodiversité, comme l'ont montré les crises passées. Face aux changements actuels, les espèces sont susceptibles de s'adapter par sélection naturelle. Le rôle de cette dernière, comme rempart à l'extinction des populations, a été formalisé dans le modèle de sauvetage évolutif. Un examen de la littérature scientifique montre que les espèces (animaux, plantes...) s'adaptent aux changements (réchauffement climatique, déclin des pollinisateurs...). Par contre, le rôle de l'adaptation dans l'atténuation des processus d'extinction est sujet à discussion. Si l'adaptation ne permet pas, dans la majorité des cas, d'éviter l'extinction (comme le montrent les faits), il est probable que l'adaptation des espèces se traduise par des modifications importantes des relations de dépendance entre espèces dans les écosystèmes (par exemple, les relations trophiques) et, ainsi, du fonctionnement des écosystèmes.

Introduction

La biodiversité actuelle subit des bouleversements majeurs. Il est admis que nous assistons à la sixième crise biologique. On estime qu'il disparaît entre 17 000 et 100 000 espèces chaque année. Actuellement, une espèce de plantes sur huit est menacée d'extinction. Les projections annoncent qu'un cinquième de toutes les espèces vivantes pourrait disparaître dans les trente prochaines années [1]. Si la planète a connu dans son histoire plusieurs crises d'extinction, la particularité de celle-ci est le rôle majeur d'une espèce dominante, *Homo sapiens*. La quasi-totalité des milieux subissent l'impact de l'homme. Nous avons aussi des preuves tangibles que certains écosystèmes, parmi les plus riches en biodiversité (récifs coralliens, forêts tropicales, marais), sont détruits par la pollution humaine ou par l'exploitation du milieu (ressources). Cette situation est un objet de fortes préoccupations, en particulier du fait que la biodiversité peut fournir des services à l'activité humaine. Si le rôle de la biodiversité est parfois mal identifié dans sa globalité, il est avéré que l'extinction de certains groupes est susceptible d'affecter en retour les activités humaines. Le déclin des pollinisateurs dans les pays industrialisés apparaît comme emblématique sur ce point. Les pollinisateurs sauvages fournissent un service de pollinisation à l'agriculture pour la production de cultures qui pour 70 % d'entre elles en dépendent à l'échelle de la planète ; le coût de ce service a été estimé à plus de 150 millions d'euros [2].

Mais les crises sont paradoxalement des périodes de renouveau de la biodiversité. L'extinction des dinosaures, il

y a 60 millions d'années, a permis la radiation des mammifères. Ces périodes de bouleversements majeurs engendrent la mise en place de nouvelles faunes et de nouvelles flores. Par exemple, la radiation des 800 espèces de figuiers a été synchrone avec celle de ses pollinisateurs, souvent spécifiques [3]. La crise de la biodiversité se mesure souvent en nombre d'espèces perdues, les espèces étant vues comme des entités statiques. Cependant, la génétique des populations a montré depuis soixante ans que les espèces ne sont pas uniformes : les populations peuvent se différencier en fonction des conditions locales. Par exemple, la date de floraison varie en général sur un gradient Nord Sud, chaque population étant adaptée aux conditions climatiques locales. Par ailleurs, une des avancées récentes en sciences de l'évolution est la mise en évidence de la rapidité de l'évolution, contrairement à la vision classique Darwinienne qui fait l'hypothèse d'une évolution très lente ("We see nothing of these [evolutionary] slow changes in progress, until the hand of time has marked the long lapse of ages"[4]).

Dès lors, face aux changements globaux, on peut s'interroger sur la capacité des populations à s'adapter à ces nouvelles conditions par sélection naturelle et se demander si cette évolution pourrait constituer un rempart face à l'extinction de la biodiversité.

Le cadre conceptuel du sauvetage évolutif

Le modèle du sauvetage évolutif est un modèle conceptuel récent proposé par Gomulkiewicz et Holt [5]. Il émet l'idée

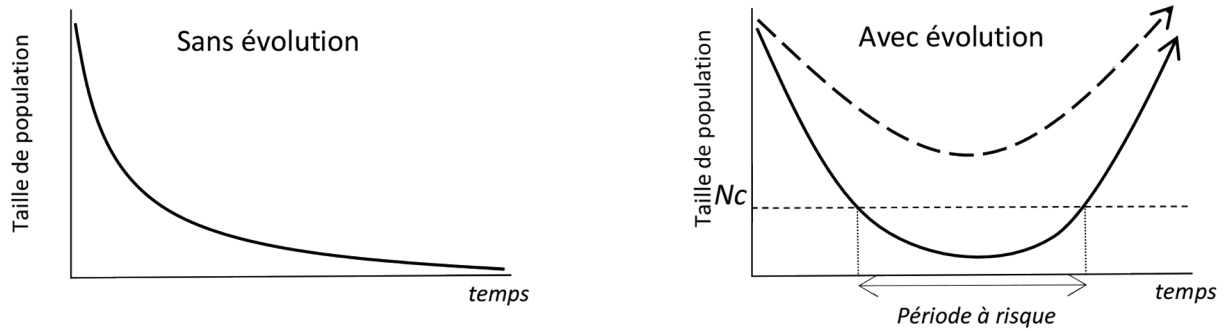


Figure 1 : Modèle du sauvetage évolutif (d'après Gomulkiewicz et Holt, 1995). Après un changement environnemental (par exemple, un changement climatique, une pollution...). Sur le graphique de gauche, une population incapable de s'adapter au nouvel environnement (sans évolution) est vouée à une extinction certaine (déterministe). Sur le graphique de droite, l'adaptation rapide de la population au nouvel environnement (évolution) peut permettre de recouvrer une population viable (courbe du haut). En cas d'adaptation moins rapide (courbe du bas), la taille de la population peut être fortement réduite. Au-dessous du seuil critique N_c , la population peut éventuellement disparaître de manière stochastique durant la période à risque.

que face à un changement environnemental (hausse des températures, fragmentation, pollution...), l'adaptation génétique (ou évolution) peut permettre un évitement de l'extinction pour des populations qui, sans évolution, seraient vouées à l'extinction (voir la Figure 1). Ce modèle met en lumière plusieurs conditions au sauvetage. D'abord, l'évolution n'est possible que s'il existe des variants dans les populations. Ceux-ci peuvent préexister aux changements, mais peuvent aussi être le fait de mutations nouvelles dans le génome qui vont générer de nouveaux phénotypes. La quantité des variations présentes va conditionner la vitesse d'évolution : plus il y a de variants dans la population, et plus il sera facile de sélectionner ceux qui sont adaptés aux nouvelles conditions. La taille de la population est aussi importante. Une grande taille de population augmentera la probabilité d'obtenir une mutation favorable. Pour des petites populations, la baisse transitoire de la taille de la population peut aussi engendrer une extinction par hasard, alors qu'une population présentant les mêmes caractéristiques mais plus grande aurait échappé à celle-ci. En l'état actuel des connaissances, ce modèle a été essentiellement testé en laboratoire sur des microorganismes. Dans ces expériences, on impose un changement environnemental et on observe l'évolution et la démographie des populations au cours du temps. Les expériences réalisées ont globalement validé le modèle théorique : le sauvetage est d'autant plus probable que les populations sont grandes et que la variation génétique est substantielle dans les populations considérées [6]. L'application de ce modèle aux populations évoluant en milieu naturel a cependant été très peu développée, et son application aux espèces subissant des changements globaux reste un enjeu de recherche majeur actuellement en écologie/sciences de l'évolution.

Évolution des espèces dans les milieux anthropisés

Face aux changements globaux, de nombreuses études ont montré que les espèces s'adaptent, souvent rapidement. Hendry et collaborateurs [7] ont proposé une synthèse sur ce sujet. Dans ce contexte, l'adaptation des plantes ou des animaux sauvages à l'environnement

urbain est un modèle de choix pour étudier l'adaptation face aux changements globaux. Contrairement à l'idée répandue, les espèces sauvages sont nombreuses en ville, même si le nombre de leurs individus est faible. La ville représente un laboratoire à ciel ouvert pour les écologistes, car ce milieu est souvent extrême. Dans une certaine mesure, le milieu urbain représente un condensé des changements que l'on observe sur l'ensemble de la planète. C'est un milieu plus chaud, plus sec que la campagne environnante (îlot de chaleur), qui peut être mis à profit pour étudier l'impact du changement climatique dans une région. C'est un milieu extrêmement fragmenté du fait de son artificialisation. Ainsi, Cheptou et Lambrecht [8] ont montré que l'espèce *Crepis sancta* (voir la Figure 2 de la page suivante) s'est, à l'échelle de la ville de Montpellier, adaptée à la température urbaine (+ 2-3°C) et au stress hydrique. De manière intéressante, l'espèce s'est adaptée à la fragmentation extrême de l'habitat considéré en moins de 15 ans, en modifiant la stratégie de dispersion de ses graines. En ville, cette espèce se développe dans de petits îlots de terre et, dans la mesure où les graines dispersantes se perdent le plus souvent sur le bitume des villes, les populations urbaines de l'espèce considérée présentent une proportion de graines dispersantes plus faible en ville que dans la campagne environnante, en accord avec la sélection naturelle.

Les agrosystèmes sont aussi des milieux extrêmement perturbés, qui subissent l'influence anthropique et les changements de climat. Parmi les nombreux organismes sauvages que l'on y trouve, les plantes adventices subissent de plein fouet la modernisation des pratiques agricoles et les changements climatiques. En utilisant des graines anciennes, vieilles d'une vingtaine d'années, issues des conservatoires botaniques, et des graines collectées quelques dizaines d'années plus tard sur la même parcelle (méthode dite d'écologie de la résurrection), il est possible de caractériser les évolutions génétiques qui se sont produites au cours des dernières décennies. Ainsi, Thomann et collaborateurs [9], qui ont étudié une population de bleuet (*Cyanus segetum*) du Nord de la France, ont pu montrer des évolutions importantes chez cette espèce. Le résultat majeur est la mise en évidence d'une avancée



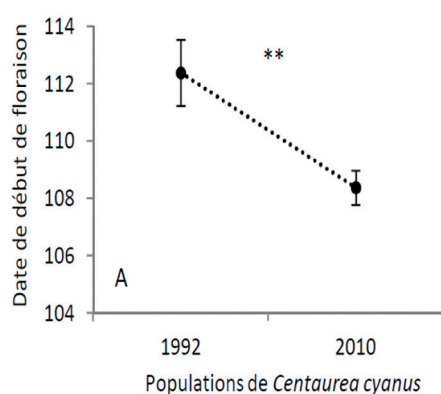
Photo © Gilles Pzretak.



Figure 2 : L'espèce *Crepis sancta* est une plante commune méditerranéenne de la famille du pissenlit. Elle a récemment colonisé le milieu urbain, où on la retrouve dans des « îlots d'habitat » entouré de béton, tel que les pieds des arbres d'alignement. Ces plantes produisent deux types de graines, les unes se dispersant avec le vent et les autres tombant au pied de la plante. Les travaux de Cheptou ont montré que les populations urbaines avaient, par sélection naturelle, développé une stratégie « sédentaire » en augmentant la production de leurs graines non dispersantes, limitant ainsi le risque de perdre des graines sur le bitume urbain.

de la date de floraison pour les populations récentes – de 3 jours environ –, en accord avec le réchauffement des températures. Par ailleurs, face au déclin des pollinisateurs, les auteurs ont montré que l'espèce s'est adaptée par une augmentation de la taille de ses fleurs, ce qui peut être interprété comme une augmentation de sa capacité d'attraction dans un milieu appauvri en pollinisateurs. Néanmoins, le schéma trouvé chez le bleuets ne semble pas pouvoir être généralisé. Face à la raréfaction des pollinisateurs, l'espèce *Centaurea erythraea* s'est au contraire adaptée en réduisant sa pollinisation par les insectes (en autofécondant ses graines), et finalement par un abandon de sa relation aux pollinisateurs.

Ainsi, les espèces sont capables de répondre aux chan-



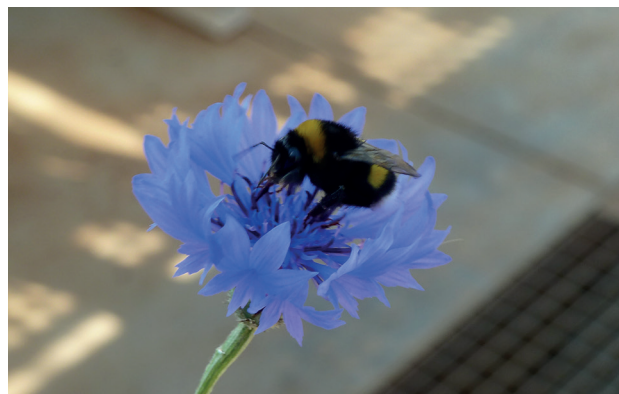
Évolution de la date de début de floraison pour les bleuets anciens (1992) et les bleuets actuels (2010) dans une population du nord de la France.

Figure 3 – Photo © Michel Thomann.

gements de leur environnement, mais il est souvent difficile de prévoir quel chemin empruntera l'espèce, à l'instar de l'exemple de l'adaptation des plantes au déclin de ses pollinisateurs. Cela illustre une règle assez générale en sciences de l'évolution : l'évolution par sélection naturelle reste contingente et, dans la plupart des cas, peu prédictible.

Adaptation et conservation de la biodiversité

Si un grand nombre d'études montrent que les espèces ont la capacité de s'adapter par sélection naturelle aux changements environnementaux du fait de variations préexistantes dans les populations, les conséquences de ces évolutions sur la capacité des espèces à échapper à l'extinction (sauvetage évolutif) restent peu étudiées. Plusieurs types d'arguments permettent de discuter ce problème. D'abord, l'adaptation d'une espèce n'est possible que dans une certaine gamme de variation. Cela tient au fait que la variation préexistante n'est pas forcément importante et que l'architecture génétique des phénotypes d'une espèce ne permet pas l'évolution de phénotypes « trop différents ». L'évolution est dans bien des cas insuffisante dans la course à l'adaptation. C'est un point qui est largement discuté dans le cadre du changement climatique : l'augmentation des températures est-elle trop rapide pour que les espèces aient le temps de s'ajuster à leur environnement [10] ? Ensuite, l'adaptation d'une espèce, même si elle lui est bénéfique, peut entraîner des extinctions en cascade dans l'écosystème. C'est ce que l'on peut craindre de l'adaptation des plantes au déclin des pollinisateurs. Si, face à ce déclin lié aux pratiques de l'agriculture intensive, les espèces acquièrent, par l'autofécondation, la capacité à se passer des pollinisateurs, on peut craindre que la relation plantes-pollinisateurs soit définitivement rompue. Ainsi, même si les conditions sanitaires dans les agrosystèmes redevenaient favorables aux pollinisateurs, il est possible que ceux-ci ne trouvent plus les ressources en pollen et nectar nécessaires à leur survie. Il s'agit d'un point de basculement qui pourrait entraîner des extinctions en cascade dans l'ensemble des réseaux trophiques de l'écosystème. Enfin, il est important de comprendre que l'évolution des populations par



Au sein des agrosystèmes, le bleuets (*Centaurea cyanus*) s'est adapté à la raréfaction des pollinisateurs et à l'augmentation des températures.

sélection naturelle ne maximise pas nécessairement leur démographie (et, par voie de conséquence, ne minimise pas nécessairement leur extinction). Dans le processus de sélection naturelle, la stratégie gagnante est celle qui maximise le nombre des gènes transmis à la génération suivante. L'évolution peut être vue comme un jeu au sens de la théorie des jeux, qui maximise les gains individuels dans un contexte donné, mais ne garantit en rien l'optimisation des propriétés de la population dans sa globalité [11].

Ainsi, si les processus évolutifs sont de toute évidence à l'œuvre dans la crise de la biodiversité que nous traversons, l'adaptation conduira très probablement à des modifications des espèces et des relations entre espèces au sein des écosystèmes. Mais, comme les faits le montrent, elle n'est pas en mesure d'enrayer le déclin de la biodiversité.

Références bibliographiques

- [1] <https://www.cnrs.fr/cnrs-images/sciencesdelaterreaulycee/contenu/geobio3.htm>
- [2] GALLAI N., SALLES J. M., SETTELE J. & VAISSIÈRE B. E., "Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline", *Ecological Economics* 2009;68(3), pp. 810-821.
- [3] CRUAUD A., RONSTED N., CHANTARASUWAN B., CHOU L. S., CLÉMENT W. L., COULOUX A. *et al.*, "An Extreme Case of Plant-Insect Codiversification: Figs and Fig-Pollinating Wasps", *Systematic Biology* 2012;61(6), pp. 1029-1047.
- [4] DARWIN C. R. (1859), *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*, London: John Murray.
- [5] GOMULKIEWICZ R. & HOLT R. D., "When does evolution by natural selection prevent extinction", *Evolution* 1995; 49(1), pp. 201-207.
- [6] BELL G., "Evolutionary Rescue", in FUTUYMA D. J. (editor), *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48(2017), vol. 48, pp. 605-627.
- [7] HENDRY A. P., GOTANDA K. M. & SVENSSON E. I., "Human influences on evolution, and the ecological and societal consequences – Introduction", *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 2017; 372(1712).
- [8] CHEPTOU P. O. & LAMBRECHT S. (2020), "Sidewalk plants as a model for studying adaptation to urban environments", in *Urban Evolutionary Biology Edited*, by SZULKIN Marta, MUNSHI-SOUTH Jason & CHARMANTIER Anne, Oxford University Press.
- [9] THOMANN M., IMBERT E., ENGSTRAND R. C. & CHEPTOU P. O., "Contemporary evolution of plant reproductive strategies under global change is revealed by stored seeds", *Journal of Evolutionary Biology* 2015;28(4), pp. 766-778.
- [10] BÜRGER R. & LYNCH M. (1995), "Evolution and extinction in a changing environment : A quantitative-genetic analysis", *Evolution* 49(1), pp. 151-163.
- [11] MAYNARD SMITH J. (1982), *Evolution and the theory of games*, Cambridge University Press.