Ce document est la transcription révisée, chapitrée et illustrée d'une vidéo du MOOC UVED « Biodiversité et changements globaux ». Ce n'est pas un cours écrit au sens propre du terme ; le choix des mots et l'articulation des idées sont propres à l'intervention orale de l'auteur.

Réponses évolutives aux changements globaux

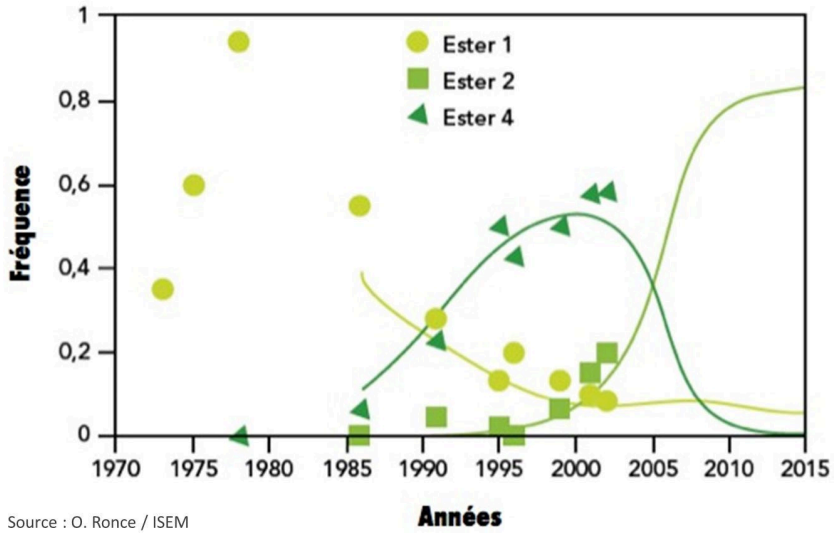
Ophélie Ronce
Directrice de recherche, CNRS

Des changements génétiques rapides, sur divers organismes, sont liés à la circulation dans les écosystèmes de substances toxiques nouvelles introduites par l'homme, de façon intentionnelle ou non. Il s'agit par exemple d'antibiotiques, de divers pesticides, ou de pollution par les métaux lourds.

1. Résistance aux insecticides

L'évolution de la résistance aux insecticides chez de nombreuses espèces de moustiques, dont le moustique tigre, fournit à cet égard un exemple intéressant d'adaptation génétique rapide à des modifications d'environnement par l'homme. L'utilisation massive de pesticides depuis les années 1950 a conduit à la sélection quasi systématique de résistance chez les organismes cibles, comme chez les organismes non-cibles. Le moustique *Culex pipiens* a été traité majoritairement aux insecticides organophosphorés, à l'échelle mondiale. Différentes mutations, permettant au moustique de survivre malgré la présence d'insecticides, sont apparues de façon répétée et indépendante à travers le monde. Un des mécanismes de la résistance aux insecticides est la surproduction d'enzymes de détoxification, appelés les estérases. Cette surproduction peut être liée à la multiplication du nombre de copies des gènes des estérases dans le génome des moustiques. Une dizaine de mutations de ce type sont connues dans le monde.

Dans la région de Montpellier, la fréquence des mutations conférant la résistance aux insecticides organophosphorés a été suivie pendant près de 40 ans. On voit sur le graphique ci-dessous que la fréquence des moustiques porteurs de gènes de résistance a très rapidement augmenté, suite à l'utilisation massive des insecticides.



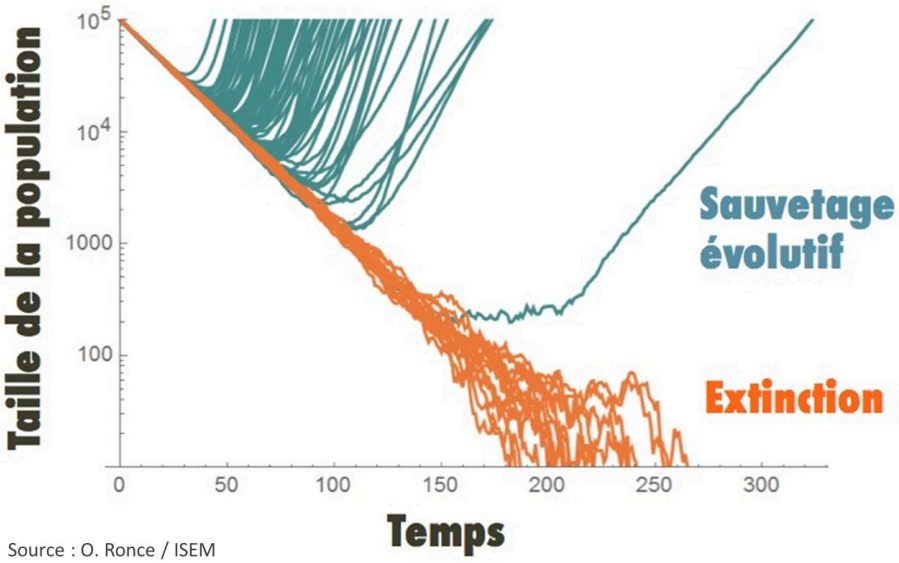
Source : O. Ronce / ISEM

On a également assisté au remplacement, au cours du temps, des premiers gènes de résistance, par des variantes génétiques différents, survivant tout aussi bien en présence d'insecticides, mais ayant de bien meilleures performances dans les zones non traitées. Cette évolution du coût de la résistance aux insecticides compromet nos options de gestion, afin d'éviter que tous les moustiques ne deviennent résistants aux insecticides et que ces insecticides ne deviennent inutiles.

2. Limites de l'adaptation génétique

L'évolution de la résistance aux insecticides chez les moustiques permet de mieux comprendre les limites de l'adaptation génétique. En effet, il faut d'abord qu'une mutation salvatrice existe dans la population concernée, qu'elle y soit apparue localement, ou qu'elle y ait été introduite par migration. Ensuite, l'adaptation dans un environnement stressant, tel que celui d'un environnement exposé aux insecticides, est le résultat d'une course entre le déclin de la population, et la vitesse d'évolution de celle-ci. Il faut qu'un variant génétique favorable, permettant la survie dans ce nouvel environnement, atteigne une fréquence élevée, avant que la population ne s'éteigne : on parle alors de sauvetage évolutif. On voit illustrée sur le graphique ci-dessous la trajectoire simulée de 1000 populations soumises à un tel environnement stressant causant leur déclin initial. Les trajectoires bleues montrent des populations où l'adaptation a été assez rapide, permettant de faire évoluer la capacité à croître dans un environnement nouveau, après une période de déclin initial. Néanmoins de nombreuses populations se sont éteintes avant d'avoir pu développer de telles adaptations. On voit donc que la simple existence de variants génétiques adaptées à un environnement

nouveau ne suffit pas à garantir la survie à long terme de la population dans cet environnement.



Source : O. Ronce / ISEM

L'augmentation des températures continue, liée au changement climatique, confronte les espèces à un autre type de défi adaptatif. Pour persister localement, une population doit alors s'adapter en permanence à un environnement changeant perpétuellement, comme Alice au Pays de la Reine Rouge, dans le célèbre roman de Lewis CAROLL, qui doit courir pour rester sur place. Dans ce contexte, pour persister, une population doit évoluer vite.

3. Vitesse d'évolution génétique

La vitesse d'évolution d'une population dépend de la diversité génétique présente dans cette population. On peut ainsi définir une diversité génétique critique, en dessous de laquelle la population ne peut pas s'adapter assez vite, et est vouée à l'extinction. Des chercheurs ont travaillé sur les prédictions d'un modèle d'adaptation à un environnement changeant perpétuellement. Ils ont montré la diversité génétique critique en dessous de laquelle la population ne peut échapper à l'extinction, en fonction de la fécondité de l'espèce, et pour différentes vitesses du changement environnemental. Plus l'environnement change vite, plus il est difficile d'échapper à l'extinction.

Des populations de grande taille comme celle du moustique, contenant une grande diversité de génotypes, et produisant chaque année de très nombreux descendants, peuvent donc s'adapter à des environnements qui changent vite. Ce n'est pas un hasard si la plupart des cas de sauvetage évolutif observés dans le contexte des changements globaux, concernent des populations avec des grands effectifs, à forte fécondité, et avec des temps de générations courts. Inversement, des populations de petite taille, appauvries génétiquement, et avec une faible fécondité, comme c'est le cas pour de nombreux organismes à longue durée de vie,

auront les plus grandes difficultés à s'adapter à des environnements qui changent, même lentement. On peut donc douter du rôle que jouerait l'évolution génétique spontanée, dans l'adaptation de populations déjà menacées et fragilisées par différentes pressions anthropiques. Préserver la variabilité génétique au sein des populations comme une source de flexibilité essentielle dans le contexte des changements globaux est donc un enjeu prioritaire.

4. Méthodes de gestion dynamique

Les méthodes de gestion dynamique, visant à la conservation *in situ* des ressources génétiques d'espèces cultivées, offrent à cet égard des pistes intéressantes. Ces méthodes, contrairement aux méthodes de conservation *ex situ*, comme les banques de graines ou de collections, ont pour objectif de préserver un réservoir de variabilité génétique, plutôt que certains génotypes particuliers, ou certaines variétés fixées. Ces méthodes reposent sur la conservation d'un grand nombre de populations, réparties dans des environnements contrastés, afin de maximiser la diversité d'adaptation locale.

Une telle expérimentation a démarré en 1984, sur des populations de blé tendre. Les populations ont été formées, issues de croisements entre de très nombreux descendants, et ont ensuite été réparties, dans des sites contrastés, où elles ont été cultivées isolément pendant près de 25 générations. On s'attend à ce que les populations dans les différents sites se différencient génétiquement au cours du temps ; et la migration entre ces sites pourrait permettre dans un deuxième temps, de renouveler la variabilité génétique au sein des populations. Après seulement 12 générations d'évolutions séparées dans des sites contrastés, le blé a été semé dans une même localité. On a alors constaté que les plantes issues de populations ayant évolué dans des sites avec un climat plus froid, fleurissaient plus tardivement. En moins de 12 générations, on a donc eu une différenciation génétique rapide des populations, pour la précocité de la floraison, qui est une adaptation au climat local ; mais aussi pour d'autres caractères, tels que la résistance à certaines maladies comme l'oïdium. La compétition entre génotypes au sein des mêmes parcelles a aussi conduit à l'évolution de caractères peu favorables agronomiquement, comme une grande hauteur de tige. Ceci suggère que des méthodes optimales de gestion de la variabilité génétique et des ressources génétiques, devra impliquer un mélange de sélection naturelle et de sélection artificielle par l'homme.

5. Conclusion

Le vivant est l'objet d'une perpétuelle évolution qui trouve son terreau dans les modifications aléatoires du matériel génétique, que sont les mutations et les recombinaisons. Des cas d'évolutions contemporaines rapides, en réponse aux changements globaux, sont déjà bien documentés. Néanmoins, cette adaptation du vivant peut être

également à l'origine de nouveaux problèmes, notamment de problèmes de santé publique, quand par exemple, on discute des problèmes d'évolution de résistance aux antibiotiques chez les pathogènes. De plus, le rôle que pourrait jouer l'évolution génétique spontanée dans l'atténuation des conséquences néfastes des changements globaux sur la biodiversité, est sujette à débat. En particulier, pour des espèces menacées déjà par leur petite taille, leur faible fécondité, ou leur temps long de générations. Préserver les capacités d'adaptation et les capacités d'évolution de ces espèces est donc un enjeu prioritaire.