L'adaptation des organismes à leur environnement

Auteur :
DESPRÉS Laurence, Professeur, Laboratoire d'Ecologie alpine, Université Grenoble Alpes

26-12-2022



La diversité du vivant, ou biodiversité, se traduit par des variations phénotypiques (expression de traits variables) elles mêmes causées en grande partie par des variations génétiques aussi bien à l'intérieur des espèces qu'au niveau supérieur ou supra-spécifique. Les contraintes environnementales rencontrées par les différentes populations d'une même espèce façonnent l'expression des traits maximisant la survie et/ou la reproduction des individus localement. La théorie de la sélection naturelle a été enrichie au fil du temps par la découverte des bases moléculaires de la variation génétique et de l'importance du hasard dans l'évolution des traits. Plus récemment d'autres mécanismes tels que le transfert non génétique d'information d'une génération à l'autre (épigénétique) et la symbiose (coopération interspécifique) semblent avoir un rôle important dans le potentiel adaptatif des individus et des populations. Plus d'un siècle et demi après Darwin et à l'aube d'une sixième extinction de masse d'une ampleur inédite initiée par les activités humaines, il est plus que jamais nécessaire de comprendre tous les mécanismes à l'œuvre dans l'adaptation des organismes à un environnement en pleine mutation.

1. Les individus diffèrent, les populations évoluent



Figure 1. Mélanisme industriel de la phalène du bouleau. Ce papillon nocturne passe la journée immobile sur les troncs de bouleau, invisible aux oiseaux prédateurs (A, forme blanche typica). La forme noire, carbonaria (B), est devenue majoritaire dans les zones polluées après la révolution industrielle au 19ème siècle.

Les différents individus d'une même espèce peuvent rencontrer des conditions environnementales très variables. Ainsi, une plante poussant en plaine ne subit pas les mêmes contraintes climatiques qu'une plante poussant en montagne. De même, un animal vivant en zone urbaine, agricole ou en forêt n'aura pas accès aux mêmes ressources et ne sera pas exposé aux mêmes polluants… On parle alors de contraintes abiotiques, par opposition aux contraintes biotiques, liées aux interactions entre organismes vivants. Les **contraintes environnementales** étant localement variables, des individus présentant des **traits** différents vont être sélectionnés localement. Un **trait adaptatif** est une caractéristique morphologique, physiologique, ou comportementale, qui procure un **avantage de survie ou de reproduction** aux individus qui présentent ce caractère, dans un environnement donné. Cependant, tous les traits variables dans l'espace ne sont pas nécessairement adaptatifs.

L'exemple le plus connu d'un trait adaptatif qui varie dans l'espace est celui de la phalène du bouleau, *Biston betularia* (Figure 1). Ce papillon nocturne passe la journée immobile sur les troncs de bouleau, invisible aux oiseaux prédateurs (A, forme blanche *typica*). Lors de la révolution industrielle de la seconde moitié du 19ème siècle en Angleterre, la forme *carbonaria* (B) est devenue majoritaire dans les zones polluées, étant moins visible que la forme blanche *typica* sur les troncs noircis par les fumées industrielles. On parle alors de mélanisme industriel (Figure 1). Chez cette espèce, la couleur est déterminée par un seul gène qui existe sous deux formes, ou allèles : blanc ou noir. Il s'agit d'un exemple d'**adaptation locale** : les papillons blancs sont plus consommés dans les régions polluées et disparaissent au profit des papillons noirs, et inversement en zone non polluée. La couleur est le trait adaptatif localement sélectionné, le facteur sélectif est la prédation aviaire. Pour le démontrer, on place des papillons noirs et blancs sur des troncs blancs, ou sur des troncs noirs, et on observe le taux de prédation sur les deux formes dans chacune des situations.

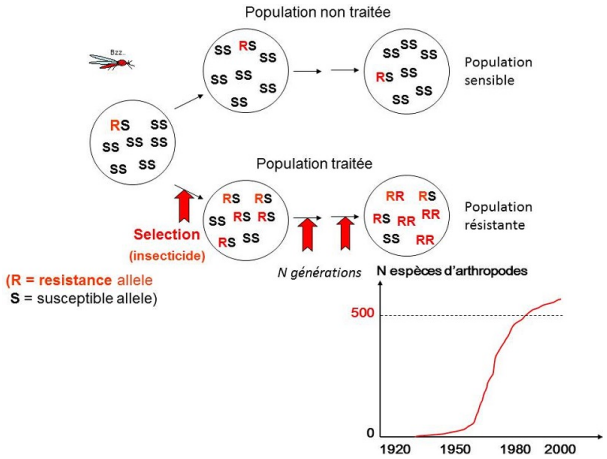


Figure 2. L'évolution de la résistance à un insecticide illustre le processus darwinien de la sélection naturelle : dans les populations traitées, seuls les insectes résistants survivent et en quelques générations la population est devenue complètement résistante. L'individu est la cible de la sélection, mais ce sont les populations qui évoluent graduellement vers une résistance de plus en plus élevée par sélection au cours des générations des individus les plus résistants. Depuis les années 1950, l'utilisation d'insecticides chimiques sur les populations de vecteurs de maladies (moustiques) et de ravageurs de culture a conduit à l'évolution de populations résistantes chez toutes les espèces traitées, limitant fortement l'intérêt de ces molécules toxiques devenues inefficaces. Le même phénomène est observé en milieu hospitalier où l'utilisation d'antibiotiques sélectionne des bactéries pathogènes résistantes.

Les exemples d'**adaptation locale** sont très nombreux et concernent tous les organismes vivants, on peut citer :
- les populations d'insectes traitées aux insecticides deviennent rapidement résistantes à ces insecticides (Figure 2) ;
- des bactéries résistantes aux antibiotiques sont sélectionnées en milieu hospitalier ;

- la taille des becs des pinsons varie selon la taille des graines disponibles localement [1] ;
- la diapause hivernale est sélectionnée chez les insectes en climat tempéré ;
- les plantes en altitude sont généralement plus petites que celles de la même espèce qui poussent en plaine (Figure 3).



Figure 3. Ces deux plantes de la même espèce Arabis alpina sont issues de graines prélevées sur une plante mère poussant à 3000 m (plante de gauche) ou à 1000 m (plante de droite). Elles présentent des morphologies bien différentes : port compact, petites fleurs peu nombreuses pour la première, et un port plus lâche, des fleurs plus hautes et plus nombreuses pour la seconde. Elles sont pourtant cultivées dans les mêmes conditions (jardin alpin du Lautaret, 2000 m d'altitude). La mesure de ces traits in situ (c'est-à-dire où les graines avaient été prélevées), et en jardin commun (là où l'expérience est réalisée) permet de distinguer la part de l'environnement et de la génétique dans leur expression. La mesure de la survie et de la reproduction d'individus transplantés in situ par rapport aux individus vivant dans les conditions initiales permet de montrer le caractère adaptatif de ces traits en lien avec l'altitude. [source : © Photo Pierre de Villemereuil]

Dans les populations naturelles, la plupart des traits ne sont pas des caractères discrets (blanc/noir) codés par un seul gène. Le poids, la forme, ou la taille sont des traits qui varient de façon continue dans les populations : ce sont des **caractères quantitatifs** (polygéniques) ; de plus, l'expression de ces caractères est dépendante de l'environnement : une plante bien arrosée et fertilisée va atteindre une taille plus importante que si elle est plantée dans un milieu aride et peu fertile, indépendamment des gènes qu'elle porte. Cette capacité des organismes à ajuster leurs traits aux ressources disponibles dans l'environnement rencontré est nommée **plasticité phénotypique**. La valeur d'un trait mesuré en population naturelle (**phénotype**) dépend pour partie des gènes de l'individu, et pour partie de l'environnement dans lequel cet individu se développe.

2. L'environnement peut-il influencer directement les traits adaptatifs ?

D'après la théorie de la sélection naturelle [1], seule la part génétiquement déterminée d'un caractère est transmise à la descendance (**part héritable** du caractère). Les caractères adaptatifs augmentent donc graduellement en fréquence dans les environnements qui leur sont favorables via la survie et la reproduction différentielles des individus. Localement, la fixation d'un trait avantageux dépend de l'intensité du flux de migrants qui viennent contrecarrer l'effet de la sélection locale en ré-introduisant les traits contre-sélectionnés. Pourtant, de plus en plus d'études récentes montrent que l'environnement expérimenté par les parents pourrait avoir un effet sur les traits exprimés par les descendants, indépendamment des gènes (**épigénétique**) (lire L'épigénétique, le génome & son environnement). Ainsi, il a été montré que des chenilles nourries sur des plantes plus ou moins riches en azote avaient une descendance plus performante sur le type de plante utilisé par leurs parents [2]. De même, des chenilles exposées à des pathogènes produisaient des descendants protégés contre ces pathogènes. L'œuf n'est pas formé que des gènes des deux parents, mais contient des molécules supplémentaires (facteurs de croissance, facteurs immunitaires…) qui expliqueraient cette transmission entre générations. Mais il y a plus étonnant encore : deux générations après un stress (odeur associée à un choc électrique, exposition à un polluant…) subi par leur grand-père, des souris issues de fécondation *in vitro* sont conditionnées pour répondre à ce stress. Les marques épigénétiques modulant l'expression des gènes impliqués dans la réponse aux stress seraient présentes dans la descendance [3]. Un tel transfert d'information sur les caractéristiques environnementales locales directement de parents à enfants (héritabilité des caractères acquis [4]) est un moyen apparemment plus efficace que la sélection naturelle pour prédisposer les individus aux conditions environnementales qu'ils sont susceptibles de rencontrer, mais la généralité de ce phénomène dans l'adaptation est loin d'être établie et les mécanismes exacts demandent à être précisés (lire Adaptation : répondre aux défis de l'environnement).

3. L'environnement, c'est avant tout les autres !



Figure 4. La diversité des corolles (forme, odeur, couleur) observée entre espèces proches et interfécondes du genre Trollius résulte de l'interaction avec différents cortèges de pollinisateurs chez cette plante arctico-alpine d'origine Himalayenne.

Au-delà des conditions environnementales abiotiques rencontrées (climat, polluant), tout individu est la proie et/ou le prédateur d'au moins une autre espèce : l'environnement d'un organisme, c'est avant tout les autres ! Les interactions avec d'autres espèces (lire Symbiose et parasitisme) : prédateurs, parasites, compétiteurs mais aussi mutualistes (e.g. pollinisateurs, Figure 4) constitueraient l'essentiel des facteurs sélectifs façonnant les traits adaptatifs dans les populations selon l'hypothèse "*de la reine rouge*" [5]. Selon l'hypothèse alternative dite "*du fou du roi*" les facteurs abiotiques (chutes de météorites, volcanisme, changements climatiques) joueraient un rôle prépondérant dans l'évolution de la biodiversité. Les deux mécanismes sont vraisemblablement en jeu dans l'évolution des populations et des espèces, l'évolution des clades (**macroévolution**) procédant par changements graduels (rythme « *reine rouge* ») avec parfois des évènements de spéciation très rapide en lien avec des changements brutaux de l'environnement (« *fou du roi* »).

4. Pourquoi certains traits apparemment défavorables à la survie sont-ils sélectionnés ?



Figure 5. Les caractères sexuels extravagants peuvent être impliqués dans la compétition entre mâles pour l'accès aux femelles, comme les bois démesurés des cerfs, ou dans le choix des femelles, comme les couleurs exubérantes des guppies, paons ou frégates.

L'évolution de certains traits extravagants comme la queue démesurée des paons ou la couleur vive des guppies peut sembler difficile à expliquer car ils semblent plutôt défavorables en terme de survie (plus visibles par les prédateurs, encombrants…) ; pourtant ces traits sexuels coûteux en terme de survie sont sélectionnés chez les mâles car ils permettent un meilleur accès au femelles, par compétition directe entre mâles, ou parce que les femelles choisissent les mâles qui présentent ces traits pour s'accoupler (Figure 5). C'est la sélection sexuelle [6].

Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer ce choix délibéré des femelles pour des mâles présentant apparemment un handicap de survie : l'hypothèse des « *bons gènes* » stipule qu'il y a un lien direct entre le trait choisi par les femelles et la qualité

génétique du mâle. Par exemple, une couleur vive du plumage indique que le mâle possède des gènes de résistance aux parasites locaux, qui seront transmis à la descendance (hypothèse de Hamilton et Zuk). Selon l'hypothèse du « *fils sexy* », le trait choisi n'a pas besoin d'être associé à une bonne qualité génétique du mâle, le fait qu'il plaise aux femelles en fait un caractère adaptatif en soit, puisque les descendants de ce mâle plairont aussi aux femelles. Selon l'hypothèse du handicap, la femelle évalue la viabilité du mâle basée sur des traits qui diminuent *a priori* la survie…

5. Coopération et adaptation : la théorie de l'holobionte



Figure 6. Chez le puceron du pois Acyrthosiphon pisum la capacité de survivre sur une plante-hôte (trèfle ou luzerne) est conférée par des bactéries symbiotiques différentes. L'adaptation à une plante-hôte donnée n'est pas le résultat d'un tri sur les gènes du puceron, mais d'un tri sur les bactéries qu'il héberge. Les bactéries ayant un taux de reproduction plus élevé que le puceron, ce mécanisme d'adaptation via le partenaire associé pourrait être une façon très efficace pour les organismes de répondre rapidement à un changement environnemental brutal (e.g., rotation de cultures…). De plus la couleur des individus est conférée par des bactéries symbiotiques qui produisent le pigment vert, assurant une meilleure protection contre les prédateurs (coccinelles) par camouflage (voir réf. [7]).

Ces dernières années, une nouvelle vision des processus évolutifs est apparue : elle intègre la coopération (interaction à bénéfices réciproques) entre organismes au même niveau que la compétition pour la survie. Cette vision est née de la prise en compte des conséquences de l'incroyable diversité des microorganismes symbiotiques présents dans les organes et les cellules de tous les organismes. Les mycorhizes des plantes, bactéries intestinales, bactéries endocellulaires des insectes, Figure 6 [7]), ou **microbiote**, jouent un rôle majeur dans un grand nombre de fonctions vitales : nutrition, détoxication, réponse immunitaire, comportement, et même reproduction. Certains auteurs appellent même à formuler une nouvelle théorie synthétique de l'évolution où la cible de la sélection naturelle ne serait plus l'organisme seul, mais l'ensemble organisme et microbiote, appelé 'holobionte' [8] (lire Systèmes symbiotiques et parasites).

Les symbioses sont omniprésentes dans le vivant, à toutes les échelles (lire Symbiose & évolution & Systèmes symbiotiques et parasites). Ainsi l'endosymbiose mitochondriale est à l'origine de la cellule eucaryote : la mitochondrie indispensable au métabolisme cellulaire était à l'origine une bactérie libre, peut-être consommée, ou parasite, de cellules plus grosses. La symbiose se retrouve au cœur des récifs coralliens (association entre une algue et un cnidaire) ou des mycorhizes (association entre un champignon et les racines d'une plante). C'est aussi le cas des milliards de bactéries que nous abritons dans nos intestins, qui se révèlent être des éléments clés de notre santé (voir Les microbiotes humains : des alliés pour notre santé). La prise en compte des symbioses dans la théorie de l'évolution pourrait réconcilier la polémique sur la part de l'inné (génétique) et de l'acquis (épigénétique, dont font partie les symbiotes-éléments de l'environnement potentiellement transmis d'une génération à l'autre) dans l'adaptation des organismes à leur environnement, et offrir un éclairage nouveau sur les changements de taux de spéciation observés à l'échelle macroévolutive.

Références et notes

Source photo de couverture : Sous le Grand Veymont, une troupe de bouquetins - Alain Herrault, *www.alainherrault.com*

[1] Darwin CR (1959) *On the origin of species by the means of natural selection*, https://fr.wikipedia.org/wiki/De_l'origine_des_esp%C3%A8ces

[2] Cahenzli F & Erhardt A (2013) *Transgenerational acclimatization in an herbivore-host plant relationship.* Proc R Soc B, 280 20122856 ; DOI: 10.1098/rspb.2012.2856

[3] Goldberg AD, Allis CD & Bernstein E (2007) *Epigenetics : a landscape takes shape*. Cell 128:635-638

[4] https://fr.wikipedia.org/wiki/Lamarckisme

[5] Van Valen L (1977) *The red queen.* The American Naturalist 111(980):809-810

[6] Hamilton WD & Zuk M (1982) *Heritable true fitness and bright birds: a role for parasites*? *Science* 218, 384–387

[7] Tsuchida T, Koga R, Shibao H, Matsumoto T & Fukatsu T. (2002) *Diversity and geographic distribution of secondary endosymbiotic bacteria in natural populations of the pea aphid, Acyrthosiphon pisum.* Molecular Ecology 11(10):2123-2135

[8] Arnold C. (2013) *The hologenome: A new view of evolution.* New Scientist 217(2899):30-34

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes - www.univ-grenoble-alpes.fr

Pour citer cet article: **Auteur :** DESPRÉS Laurence (2022), L'adaptation des organismes à leur environnement, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=975

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.
