

# EVO 101

Petit cours d'évolution





# *Avant-propos*

**F**ace à la montée des obscurantismes et parce que nous pensons que la biologie de l'évolution a une portée qui dépasse les frontières de la biologie, il nous est apparu nécessaire de livrer sur le sujet un document synthétique, accessible et libre. Ce document a été réalisé dans l'objectif d'une diffusion accrue des concepts de la théorie synthétique de l'évolution : il n'en retient que l'essentiel, pour que la logique de la compréhension du monde du vivant qui en découle soit accessible au plus grand nombre. Nous espérons que le pari d'une lecture agréable est réussi et acceptons toutes les critiques susceptibles d'en améliorer le contenu.

*Les auteurs*

# *L'évolution biologique*

*C'est la modification au cours du temps des caractéristiques biologiques des êtres vivants. Les grandes lignes de l'évolution sont faciles à saisir. Il nous suffira d'acquérir quelques rudiments de génétique et de comprendre le fonctionnement des forces évolutives. Rajoutons quelques facteurs écologiques, un peu de temps et nous saurons comment apparaissent et se modifient les espèces.*

# Préliminaires

## Gène ?

Le mot à la mode est dit. Pour comprendre ce qu'est un gène, il faut aller farfouiller dans l'intimité de nos cellules. Là, on trouve une molécule qui s'appelle l'ADN, acronyme d'un vilain mot : l'acide désoxyribonucléique. Cet ADN, on le trouve dans tous les êtres vivants : les cellules de notre peau, nos bactéries, nos géraniums et le poulet au fond du réfrigérateur.

## ADN ?

Chimiquement, l'ADN est un sucre. Mais pas n'importe quel sucre. Un sucre complètement inutile pour la pause café, mais efficace pour stocker de l'information, à l'image d'un livre de cuisine. Un brin d'ADN est un enchaînement de petites molécules appelées nucléotides. Ces nucléotides sont au nombre de quatre et composent l'alphabet du vivant. De la même façon que la suite de lettres « c », « a », « k », « e » définit en français un gâteau facile à faire, l'enchaînement des nucléotides forme les gènes. Chaque gène comporte une information qui permet de cuisiner un produit, une succession d'acides aminés que l'on peut appeler « protéine ». Le génome regroupe l'information de nombreux gènes, chacun codant une protéine différente.

## Là où il y a des gènes, il y a des mutations

Le maintien de l'intégrité de la séquence des gènes est important. Il en va de la survie des êtres vivants et de leur reproduction. Les gènes sont transmis aux enfants par leurs parents, via les cellules reproductrices. Chaque cellule qui se divise doit donc copier son génome, son livre de recettes, pour que chaque cellule-fille en ait un exemplaire. Évidemment, il arrive que des erreurs s'introduisent dans la copie. Imaginez qu'un moustique vienne se mettre entre la vitre de la photocopieuse et la recette : le mot « louche » devient alors « cruche » et le gâteau au chocolat noir deviendra un délicieux crémeux parce que le volume de lait aura été modifié. Ces « erreurs » de copie qui affectent les gènes sont appelées les mutations. La mutation crée de nouvelles versions des gènes, que l'on appelle allèles. Ainsi différentes versions des gènes coexistent au sein d'une population d'individus. Toutes les mutations ne sont néanmoins pas transmises : une mutation qui touche une cellule de peau ne sera par exemple pas transmise à la génération suivante.

## *Tous différents mais tous semblables*

Toutes les espèces ont des gènes très semblables qui régissent les fonctions de base des organismes. D'autres gènes diffèrent en revanche d'une espèce à l'autre, c'est ce qui fait qu'un chat est un chat, et un glaïeul, un glaïeul.

Les cellules de l'organisme utilisent l'information génétique pour fabriquer et agencer les « briques » du vivant que sont les protéines, les lipides et les sucres. Ces briques sont bidouillées à partir des matières premières puisées dans l'environnement : les éléments minéraux du sol pour les plantes, des feuilles en décomposition pour un champignon, un steak tartare pour les plus carnivores d'entre nous, etc.

Le résultat final est un individu qui a un fonctionnement d'ensemble extrêmement comparable à celui des autres individus de son espèce. Mais l'assemblage particulier des allèles, les différentes versions des gènes, rend chaque individu unique.

## *Les caractères et l'environnement*

L'environnement modifie également l'expression des gènes : même les vrais jumeaux sont toujours un peu différents ! Par exemple, des signaux hormonaux et/ou nerveux donnent souvent des informations supplémentaires utilisées pour déterminer quelles briques produire en fonction des conditions environnementales. Le résultat de l'expression de l'ensemble des gènes dans un environnement donné est appelé le phénotype.

## *Travaux pratiques*

Prenons une population imaginaire de cafards et un gène responsable de leur couleur. Pour ce gène, deux allèles cohabitent dans la population des cafards : « vert » et « marron ». Chaque individu cafard porte lui-même deux allèles sur chacun de ses deux chromosomes\*, l'un hérité de sa mère, l'autre de son père. Les différents individus au sein de la population n'ont pas les mêmes duos d'allèles : cela peut être « vert + vert », « vert + marron » ou « marron + marron » et les phénotypes correspondants sont « verts », « marron verdâtre » ou « marrons ».

## On récapitule

L'ADN est le support de l'information génétique codée en nucléotides. Les gènes sont les fragments d'ADN qui sont convertis en protéines. Les gènes sont disponibles en plusieurs versions appelées allèles. Le génotype est la combinaison particulière d'allèles propre à un individu. Le phénotype est quant à lui le résultat de l'expression de cette combinaison, qui peut être modulée par l'environnement.

Si tout cela vous paraît clair, vous disposez des notions de génétique suffisantes pour bien comprendre l'évolution. Ne vous inquiétez pas trop pour la suite, vous avez fait le plus dur !

### *Encadré* : qu'est ce qui provoque les mutations ?

L'origine des mutations est de deux natures différentes : interne et externe. La machinerie cellulaire en charge de la réplication du matériel génétique de cellule en cellule n'est pas parfaite et le fait même de recopier le matériel génétique introduit de la variabilité. Cette source de variation est inhérente à tous les organismes, elle peut donc être qualifiée d'interne. A contrario, les mutations d'origine externe sont plus célèbres : ce sont celles liées à la radioactivité émise par l'explosion de la centrale nucléaire de Tchernobyl aux rayons ultra-violet émis par le soleil. Ces mutations sont provoquées par des agents externes physiques ou chimiques externes.







# Les mécanismes de la sélection

Dans notre population de cafards, la plupart des individus sont verts. Certains meurent, d'autres émigrent, d'autres se reproduisent et transmettent leurs allèles. Quelques générations plus tard, la majorité des individus sont marrons : c'est ce changement qu'on appelle l'évolution.

On appelle force évolutive\* tout facteur qui modifie la proportion – ou fréquence – des allèles dans une population. Qu'elle augmente ou diminue, la modification de la fréquence d'un allèle dans une population d'individus se traduit par un changement dans la fréquence des phénotypes, ici la couleur marron ou verte des individus.

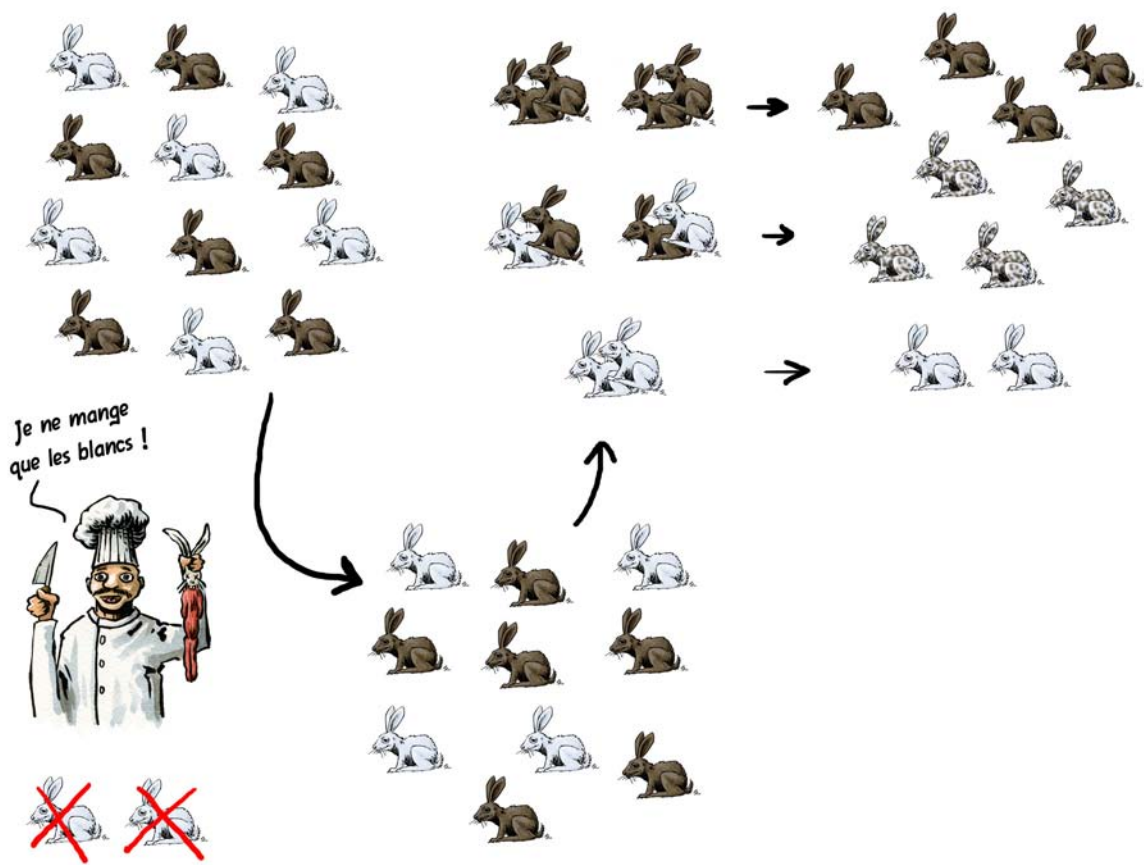
La modification de la fréquence d'un allèle dans une population peut être due à :

- la *sélection naturelle*, qui conditionne en partie la longévité et la fécondité des individus ;
- la *mutation*, qui modifie au hasard les gènes et dont on a déjà parlé précédemment. C'est elle qui fabrique les différentes versions de gènes, c'est-à-dire les allèles ;
- la *migration*, qui est le mouvement d'individus d'une population à une autre ;
- la *dérive*, qui résulte du fait que la survie et la reproduction d'un individu dépendent aussi du hasard (car un accident est vite arrivé : une tuile qui tombe du toit, la foudre, etc.).

## La sélection naturelle fait le tri

La sélection naturelle est la star des quatre forces évolutives, c'est l'idée de Darwin qui en a fait une vedette parmi les biologistes.

La sélection naturelle, comme les autres forces évolutives, modifie la fréquence des allèles dans une population. Certains individus vont mourir sans se reproduire alors que d'autres vivront longtemps et auront beaucoup d'enfants. Si les individus qui possèdent deux allèles « cool » font tout au long de leurs vies plus d'enfants que les individus qui possèdent deux allèles « pas cool » pour un gène donné, alors on s'attend à ce que l'allèle « cool » devienne majoritaire dans la population alors que la proportion d'allèles






«machin» va peu à peu diminuer, voire disparaître de la population. En d'autres termes, la sélection naturelle sélectionne (ou contre-sélectionne) les individus qui portent une combinaison favorable (ou défavorable) d'allèles. Puisque les combinaisons d'allèles favorables permettent aux individus qui les portent de faire plus d'enfants que la moyenne, la proportion de ces allèles favorables augmente mécaniquement dans la population.

Reprenons l'exemple de notre population de cafards verts et marron, installés pour les besoins de l'expérience sur une pelouse bien verte. Les cafards verts se distinguent peu dans l'herbe alors que les marrons sont un repas facile pour les prédateurs. Les oiseaux friands de cafards vont donc repérer et picorer préférentiellement les cafards qui portent les allèles responsables de la couleur marron, facilement visibles, et plutôt laisser en vie les cafards qui portent les allèles responsables de la couleur verte. L'allèle « vert » sera davantage transmis à la génération suivante que son homologue « marron ». La fréquence des allèles aura changé et la population aura évolué sous l'effet de la sélection naturelle.

## *Conditions nécessaires et suffisantes pour la sélection naturelle*

La sélection naturelle ne peut fonctionner que :

-  s'il existe plusieurs phénotypes. Dans notre exemple précédent, il faut des cafards marron et des cafards verts pour observer un changement dans leurs fréquences. Nous allons y revenir très vite ;
-  si le phénotype entraîne une survie plus ou moins longue et une reproduction plus ou moins efficace. Dans notre exemple, les cafards verts sont mangés moins souvent que les cafards marron ;
-  si le phénotype est héritable, c'est-à-dire que les enfants tendent à ressembler à leurs parents. Si ce qui assure un succès reproducteur important chez les cafards est un caractère non-héritable, par exemple le port d'une montre Rolex, pas de modification génétique des populations en vue. La montre Rolex n'étant pas un caractère héritable, mais un accessoire de mode non codé par l'ADN, aucune modification des fréquences des allèles au sein de notre population.

Évidemment, si les cafards vivent sur un sol terreux, les cafards verts seront mangés plus souvent que les cafards marrons. La « direction » de la sélection dépend de l'environnement : ce qui est bon quelque part peut être un fardeau ailleurs.



## **Encadré :** la sélection naturelle en marche

Depuis Darwin, les biologistes de l'évolution n'ont pas fait que chauffer les bancs de la fac. Ils ont accumulé les preuves, qu'il s'agisse d'exemples, de descriptions, de simulations ou d'expériences, obtenues de façons indépendantes et concordantes à toutes les échelles de temps, de quelques générations à des centaines de millions d'années.

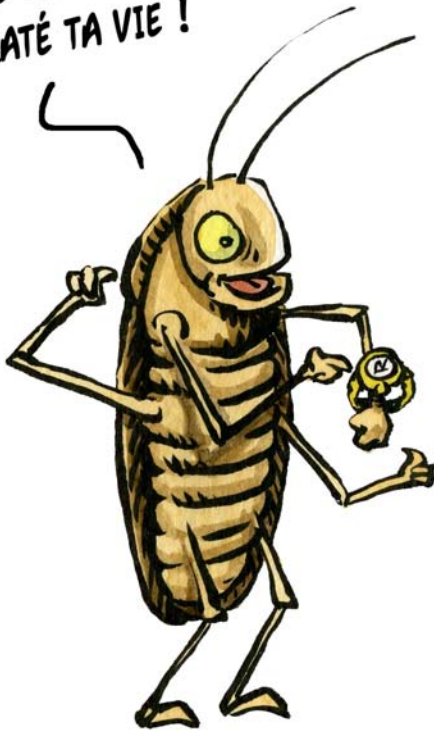
Dans certains cas, on peut observer la sélection naturelle agir « en direct *live* » à l'échelle d'une vie humaine. Les moustiques de la petite Camargue, située à l'ouest du delta du Rhône, ont évolué en réponse aux traitements insecticides et les résistances se sont diffusées au sein des populations de ces insectes sanguinaires qui animent nos nuits. Dans nos hôpitaux, l'utilisation d'antibiotiques à des doses croissantes a conduit à la sélection de bactéries super-résistantes. Ces deux phénomènes sont des exemples de micro-évolution, c'est-à-dire d'évolution à petite échelle aux niveaux des espèces et des populations.

La taille des becs des pinsons des îles Galápagos, auxquels Darwin a donné leurs lettres de noblesse et qui le lui ont bien rendu, suit ainsi les variations de climat. Après une sécheresse, les populations sont majoritairement composées d'individus possédant des becs longs et forts qui leur permettent de manger des graines plus dures, tandis que la proportion d'individus à bec fin a régressé.

Un autre exemple, classique mais frappant, est l'évolution, au XIX<sup>e</sup> siècle et en Angleterre, des phalènes. Les populations de ce papillon nocturne étaient majoritairement composées de phalènes beiges et de rares phalènes noires. Toutefois, au cours de la révolution industrielle, les troncs des bouleaux sur lesquels ces papillons se doraient la pilule se sont couverts de suie. La fréquence des phalènes noires a donc augmenté petit à petit jusqu'à devenir majoritaire au sein des populations. En effet, dans cet environnement pollué, les phalènes noires étaient devenues des cibles moins faciles à repérer pour les prédateurs. Lorsque la pollution liée à la suie a régressé, durant la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle, la fréquence des phalènes noires a elle aussi diminué.



HEY POUPÉE !  
SI À 6 MOIS T'AS PAS  
UNE ROLEX, T'AS  
RATÉ TA VIE !



NON MERCI !  
LE BLING BLING, CE  
N'EST PAS HÉRITABLE  
GÉNÉTIQUEMENT !



## *La mutation injecte de la variabilité dans le jeu de l'évolution*

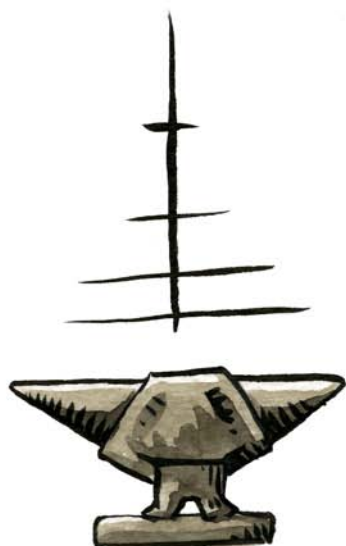
S'il n'existe que des cafards verts dans une population, la sélection naturelle ne pourra par définition pas rendre une autre couleur de cafards plus fréquente. Pour que la sélection opère, il faut de la diversité génétique, c'est-à-dire la présence de plusieurs allèles dans la population (ce qu'on appelle du polymorphisme, littéralement « plusieurs formes »).

Les différents processus à l'origine des mutations constituent la force évolutive qui apporte cette diversité. Comme on l'a vu, les mutations sont des mutations des gènes, c'est-à-dire de l'ADN. Par exemple, certaines lettres peuvent être remplacées par d'autres car les structures chimiques des différents nucléotides (les différentes lettres) ne sont pas très différentes.

La plupart du temps, les mutations sont silencieuses : soit elles affectent une partie de l'ADN qui n'est pas exprimé (cette partie n'est pas un gène), soit la modification est dite « synonyme » car elle ne change pas la protéine, produit de l'expression du gène. De la même manière que la prononciation de « papi » désigne tout autant votre grand-père que le mot « papy », notre code génétique est redondant : on peut faire la même chose de plusieurs façons.

Cependant, si la mutation affecte un gène, il arrive plus souvent que la nouvelle version du gène, le nouvel allèle donc, fonctionne moins bien que « l'original » : la mutation est défavorable. L'individu qui porte cet allèle défavorable peut développer une maladie et avoir par exemple une chlorophylle défaillante ou porter des plumes moins colorées et au final se reproduire moins souvent et/ou vivre moins longtemps que ses congénères. Plus rarement, une mutation favorable apparaît et l'être vivant qui la porte fait plus d'enfants que ses congénères.

Pour bien comprendre les différents types de mutations, on peut s'équiper d'un marteau et taper sur le moteur de sa mobylette. Il n'y a que trois possibilités. Soit la mobylette marche moins bien qu'avant et c'est une mutation délétère (l'extrême étant une mutation létale : votre mobylette est bonne pour la casse) ; soit rien ne semble avoir changé et c'est une mutation neutre ; soit enfin, elle roule mieux qu'avant et c'est une mutation favorable. Dans tous les cas, on peut appeler « allèles » les différentes versions du moteur de la mobylette.



HÉ HÉ...  
AVEC MES SUPERS GÈNES,  
JE SUIS PROMIS À UN  
AVENIR RADIEUX !



## *Quand la dérive s'interpose*

Vous êtes super bien roulé(e). Mais si, en allant chercher les croissants vous vous prenez un pot de fleurs tout droit descendu du huitième étage, vous pouvez vous mettre vos super gènes en bandoulière.

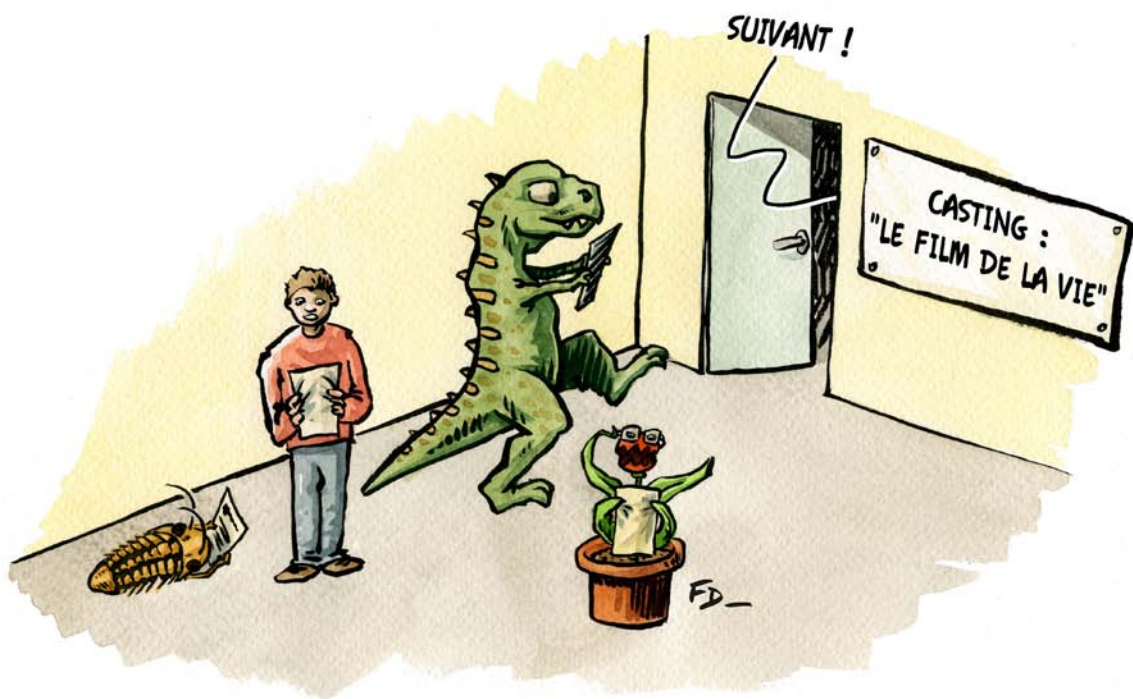
Un exemple : un couple de cafards verts et un couple de cafards marron sont dans une pelouse. Crac, vous venez de marcher sur le couple vert sans même vous en rendre compte. Plus de cafards verts, même si, sur ce merveilleux carré de jardin, ils étaient promis à de discrètes mais néanmoins fructueuses amours. Pour que réapparaissent des cafards verts dans la population, il faudra attendre soit une nouvelle mutation sur le gène de l'un des cafards marrons, soit l'arrivée de nouveaux cafards verts venus du jardin d'à côté.

On appelle cet effet du hasard la « dérive génétique ». La dérive change la fréquence des allèles indépendamment de leur avantage sélectif et ralentit donc l'effet de la sélection naturelle. Globalement, elle diminue la diversité génétique au sein des populations, et ce, d'autant plus que la population est petite.

La dérive est essentielle quand on étudie des espèces en voie de disparition. En effet, quand une population compte peu d'individus, la diversité des allèles au sein de cette population est faible et l'érosion de la diversité est rapide. Or, c'est cette variabilité génétique qui autorise l'adaptation à des environnements changeants. Lorsque la diversité génétique est menacée, c'est toute la population qui est en danger. Cette dérive génétique explique aussi pourquoi sur des environnements isolés, comme des îles, on peut trouver des formes très différentes de la population de départ. Imaginons une population de petits oiseaux à tête noire en bord de mer dont seuls de très rares individus ont la tête rouge. Par hasard et suite à une violente tempête, deux de ces oiseaux à tête rouge se retrouvent sur une petite île vierge. Pour tuer le temps, ils font beaucoup d'enfants... Dix ans après la tempête, il y a fort à parier que tous leurs descendants aient la tête rouge. Sans la comparaison minutieuse des oiseaux du continent et de l'île, on pourrait conclure un peu trop rapidement qu'il s'agit de deux espèces distinctes.

## *Et la migration dans tout ça ?*

C'est la dernière des quatre forces évolutives. En quelques phrases, disons qu'elle connecte les populations entre elles. Elle contribue par l'échange d'individus à mixer les gènes et à réintroduire de la diversité génétique perdue ici ou là. La création de cette diversité reste néanmoins l'apanage de la mutation.





# L'origine des espèces

L'évolution c'est donc le changement de fréquence des allèles au sein des populations. L'accumulation de petits remplacements alléliques finit par faire de grosses différences et aboutir à des formes biologiques distinctes. Mais à grande échelle comment apparaissent de nouvelles espèces ?

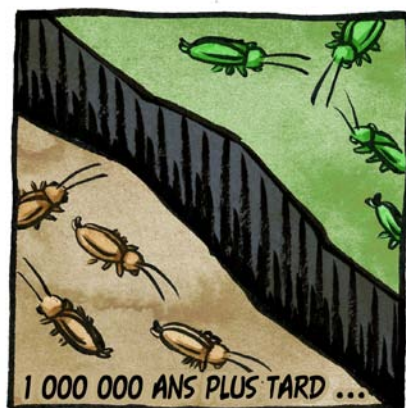
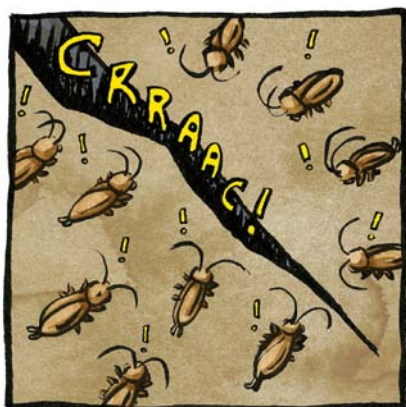
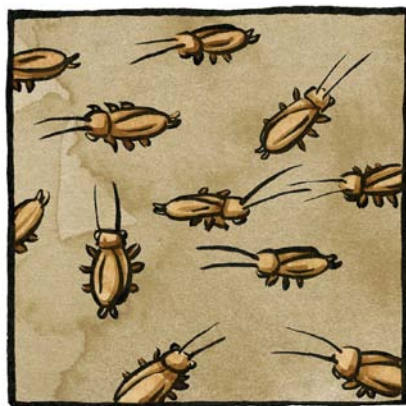
Le chat, le chien, la girafe sont des espèces différentes. Mettons-nous d'accord sur ce qu'est une espèce avant de chercher à comprendre comment elles se forment. Une espèce peut être définie comme un groupe d'individus pouvant se reproduire et donner une descendance fertile. Un chien et une chienne peuvent se reproduire ensemble, ils appartiennent à la même espèce. Un chien et une souris femelle, même témoignant de bonne volonté, ne peuvent se reproduire. Un âne et une jument peuvent éventuellement s'accoupler, mais de leurs ébats naîtra un mulet généralement stérile.

Dans la nature, il y a de nombreux cas où l'on ne peut pas appliquer cette définition. Les cas d'hybridations entre espèces décrites comme différentes, notamment chez les plantes, sont une bonne occasion pour les biologistes de discuter du concept d'espèce. Jamais à court de débats passionnants, les biologistes ont répertorié de nombreux autres cas où les limites entre espèces sont ténues, par exemple, chez les bactéries. Aucune définition de l'espèce n'est universelle et englobe la diversité du vivant. Retenons que la définition retenue ici, le critère d'interfécondité, est un critère opérationnel parmi d'autres.

## Une nouvelle espèce !

Il est facile pour vous de distinguer un tigre d'un lion parce que leur aspect physique est différent. Faisons un voyage dans le passé. Imaginez une espèce de félins qui n'existe plus aujourd'hui. Imaginez maintenant deux populations de cette espèce vivant séparées l'une de l'autre. Dans chacune de ces populations, se produisent des petits changements très graduels dans la fréquence des allèles, donc dans la fréquence des phénotypes. Petit à petit, les populations se ressemblent de moins en moins. Au bout de quelque temps, l'une a produit ce que nous appelons aujourd'hui un tigre, et l'autre a produit ce que nous appelons un lion.

La spéciation, c'est ça : la divergence des populations au cours du temps. Populations qui donnent des lignées qui deviennent peu à peu des espèces distinctes. Parce que




FD-


toutes les espèces présentes sur Terre ont des points communs fondamentaux, on pense que toutes les espèces dérivent d'une même espèce ancêtre, unicellulaire, dont on ne connaît pas toutes les caractéristiques, mais que l'on appelle LUCA (*Last Universal Common Ancestor* pour dernier ancêtre commun universel).


On peut donc essayer de tracer un arbre phylogénétique, sorte d'arbre généalogique qui relie les espèces entre elles en fonction de leur apparentement et du temps depuis lequel elles ont divergé.


Imaginez que vous regardez une des branches terminales, on y retrouve nos copains les tigres. Remontez dans le temps le long de la branche, jusqu'à une intersection avec une autre branche. Ce point de branchement, comme tous les autres points de branchement de l'arbre, correspond à un événement de divergence. En ce point, des changements génétiques ont conduit à la séparation de lignées distinctes de félins (dont l'une a donné notre espèce de tigres et l'autre nos potes les lions) alors qu'auparavant il n'y en avait qu'une. Pourquoi et comment cela s'est-il produit ?


## *Petite mise en scène biológico-historique*

 **le décor** : imaginez une population de cafards ancestraux arboricoles en train de brouter tranquillement des arbres majestueux en bordure d'une jolie rivière.

 **le drame** : une tornade fracasse l'un des arbres qui s'écroule de l'autre côté de la rivière sur un autre arbre et y déverse tous ses cafards. Ces derniers se cramponnent de toutes leurs forces sur leur nouveau gîte. L'arbre se fait finalement évacuer par la rivière et la tornade se calme.

 **fin de l'acte I** : les cafards de l'autre côté de la rivière ne sachant pas nager, sont désormais séparés du reste de leurs congénères. Les cafards exilés se voient ainsi contraints de former une nouvelle population. À ce moment-là, si on déplaçait certains des cafards (résidents versus voyageurs), ils se feraient une joie de copuler à tire-larigot, comme si de rien n'était.

 **acte II – chacun vit sa vie** : les populations, désormais séparées, subissent des mutations, la dérive et une sélection naturelle différente car la nouvelle population de cafards est arrivée sur une autre espèce d'arbre. Au cours du temps, des changements se produisent dans la morphologie, le régime alimentaire, les modes de reproduction, etc. Petit à petit, les populations divergent.

 **acte III – les retrouvailles ratées** : un promoteur d'écotourisme arrive et installe un pont en béton par dessus la rivière. Les cafards de chaque côté de la rive enjambent le

LA FONCTION CRÉE L'ORGANE...



bastingage, s'observent, puis se ruent les uns sur les autres... mais ça ne marche pas ! Il existe deux raisons possibles à ce ratage. Soit les œufs produits ne donnent aucun petit : le mélange d'informations concernant le développement aboutit à une cacophonie (imaginez deux orchestres qui interprètent deux opéras différents). Soit aucun œuf n'est produit et pour cause : nos amis cafards ne parviennent même plus à s'emboîter. Les deux lignées sont bien distinctes, les populations ne peuvent plus se reproduire. Deux nouvelles espèces sont nées.

Ici, la rivière est une barrière physique efficace pour isoler nos deux populations. Notons au passage que dans certains cas de figure de nouvelles espèces peuvent apparaître, même sans barrière physique.

Ce processus de création d'espèces peut être vu comme une des multiples facettes de l'histoire de la vie sur notre planète. Une autre facette correspond aux extinctions, une autre encore aux changements d'organisations brutaux, etc. Ces multiples facettes, étudiées ensemble, permettent de comprendre la biodiversité actuelle et son fonctionnement. Ceci ne veut pas dire pour autant que l'on pouvait prévoir le déroulement de l'évolution il y a 200 millions d'années, pas plus que l'on ne peut prévoir à quoi ressemblera la biodiversité dans 100 millions d'années !

### ***Encadré :*** l'homme ne descend pas du singe !

Cet aphorisme, qui n'a jamais été énoncé par Darwin même si on le lui prête bien souvent, comporte deux mécompréhensions majeures de ce qu'est un singe et de ce qu'est l'évolution. Premier problème : « singe » désigne un ensemble d'espèces partageant des caractères communs, pas une espèce à part entière. C'est le même principe pour "oiseau". Un oiseau n'est pas une espèce, mais une appellation générique, qui désigne l'ensemble des bêtes qui grosso modo ont des ailes, des plumes, un bec et dont les filles pondent des œufs.

"Singe" désigne un noble représentant de l'ordre des primates. Autrement dit, l'homme ne descend pas du singe, l'homme est un singe. Deuxième problème, si par « singe », on entend chimpanzé ou gorille, bref tout primate non humain, nous partageons avec eux un ancêtre commun, nous sommes donc de lointains cousins. Vous et vos cousins descendez des mêmes grands-parents, vous ne descendez pas de vos cousins (et vice-versa). Pour conclure, si le chimpanzé est notre plus proche cousin, gardons en tête que le plus proche cousin du chimpanzé est donc... l'homme.



PFFFF...  
POURQUOI A-T-IL FALLU  
QUE JE SOIS UN MÂLE ??



# *Bric à brac*

## *autour de la sélection naturelle*

### *La sélection sexuelle*

La sélection sexuelle, une autre trouvaille de Darwin, est un cas particulier de la sélection naturelle. Alors que la sélection naturelle fait le tri entre tous les individus d'une même espèce, la sélection sexuelle met en compétition les individus d'un même sexe pour l'accès à la reproduction. L'idée est que, au sein d'une espèce, chaque individu « cherche » à se reproduire mieux que les autres individus du même sexe, ce qui lui permet transmettre ses gènes en priorité.

C'est ainsi qu'à chaque saison de reproduction, certains crapauds mâles coassent le plus fort possible afin de guider les femelles jusqu'à eux. Ceux qui ont le plus de voix ou qui, plus malins que les autres, trouvent une bonne caisse de résonance sous la forme d'un arbre creux par exemple, auront plus de partenaires que les autres.

La sélection sexuelle permet d'expliquer bon nombre de curiosités évolutives, morphologiques ou comportementales. L'exemple le plus classique est celui du paon qui doit à la sélection sexuelle sa queue élaborée. Pour un prédateur, c'est génial un paon mâle, ça se repère de très loin ! Pour les femelles, si malgré un tel handicap le paon mâle a survécu, c'est le signal qu'il porte de « bons » allèles. De tels dispositifs, a priori néfastes pour la survie, permettent d'attirer plus de femelles et donc au final de transmettre ces caractères à la descendance. Un paon mâle qui ne serait pas pourvu d'une queue aussi colorée survivrait probablement longtemps à ses prédateurs, mais n'aurait aucun succès auprès des demoiselles : pas de descendants, pas d'allèles transmis.

Les « stratégies » évolutives sont souvent différentes pour chacun des sexes. Par exemple, chez les mammifères, la femelle est contrainte, physiquement parlant, de subir le développement fœtal de sa descendance, souvent de dépenser encore une partie de son énergie à allaiter ses petits, voire de les élever longtemps après leur naissance. En revanche, même s'il peut s'occuper de sa propre descendance, rien n'empêche le mâle de prendre la tangente dès qu'il a copulé. La stratégie des mâles est dans ces conditions en contradiction avec celle des femelles. Afin de propager ses gènes au maximum, un mâle a tout intérêt à se reproduire le plus grand nombre de fois qu'il lui est donné de le faire, en compétition avec les autres mâles. En revanche, la stratégie des femelles est de choisir un mâle doté d'allèles avantageux et qui soit si possible un bon père.



## La sélection artificielle

Bien avant Darwin, fermiers et éleveurs utilisaient sans le savoir la sélection pour améliorer, à leur goût ou selon leur besoins, les caractéristiques de leurs plantes et animaux. Ils n'autorisaient à se reproduire que les plantes et animaux possédant les caractéristiques recherchées, entraînant ainsi l'évolution des ressources agricoles. Ici, c'est donc l'Homme, en lieu et place de l'environnement, qui sélectionne les individus qui vont se reproduire.

Remarquons que le terme de sélection artificielle pourrait d'ailleurs être discuté puisque l'Homme, dans ce cas, n'est en fait rien d'autre qu'un élément de l'environnement des animaux ou des plantes en question.

Toutes les céréales actuelles sont issues d'un processus de domestication, souvent à l'œuvre depuis plusieurs millénaires. Toutes les races de chiens, du Yorkshire au Lévrier afghan, sont initialement issues de loups sélectionnés d'abord pour leur docilité puis sur des critères esthétiques ou utilitaires.

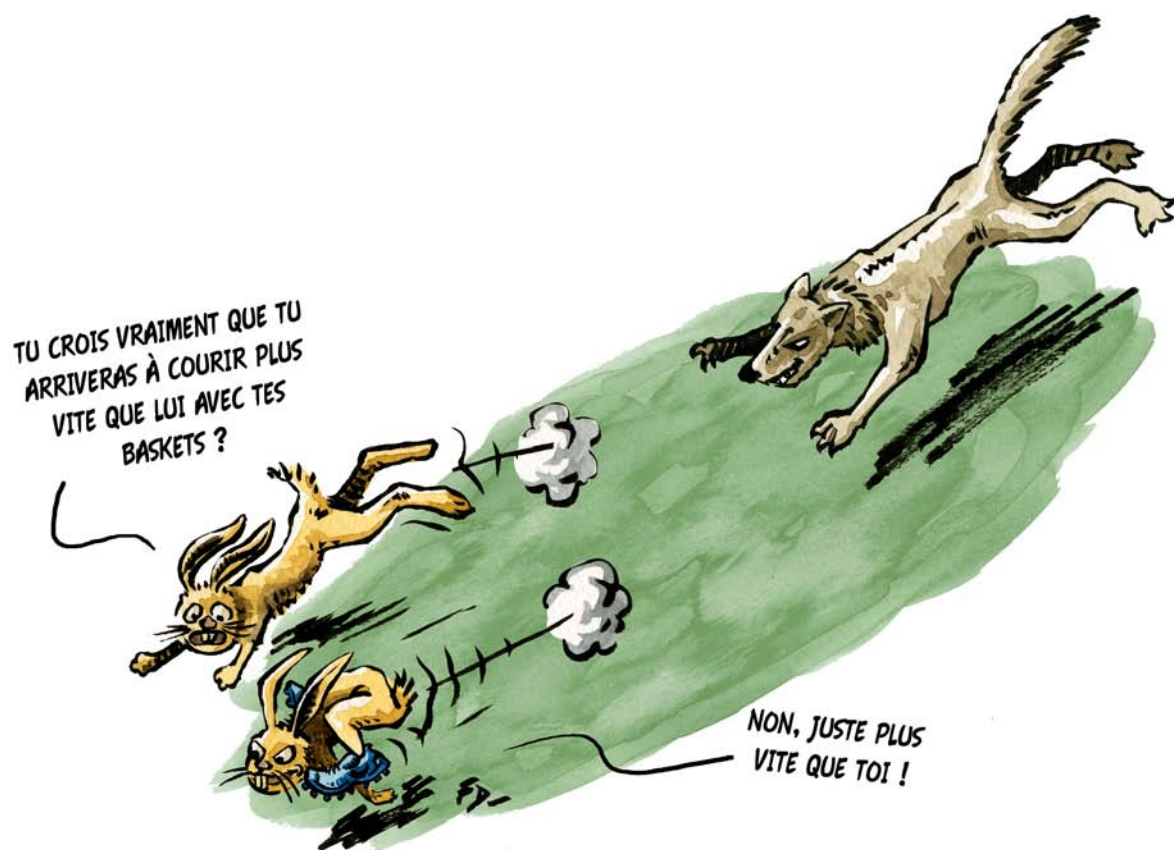
## Coévolution

Le terme de coévolution est utilisé pour décrire les cas où au moins deux espèces influencent réciproquement leurs évolutions respectives.

La coévolution se produit dès lors que ces espèces ont des interactions étroites comme dans des relations de type prédateur/proie ou hôte/parasite, des relations de compétition ou enfin des relations de collaboration.

Par exemple, de très nombreuses plantes sont associées à des insectes qui viennent se nourrir de leur nectar tout en déplaçant le pollen de fleur en fleur. Les papillons qui se nourrissent sur des fleurs très profondes ont une longue trompe et l'on constate que si, pour une raison ou une autre, les fleurs deviennent encore plus profondes, les papillons de la population présenteront une trompe encore plus longue. Inversement, si des papillons à trompe courte deviennent majoritaires dans la population, la corolle des fleurs deviendra elle aussi plus courte.

Certains « partenaires » sont si étroitement associés et spécialisés qu'il leur est impossible de « collaborer » avec d'autres partenaires. C'est le cas par exemple des nombreuses espèces de figuiers. Chacune est associée à une espèce de pollinisateur qui lui est propre. C'est pourquoi les biologistes ont de bonnes raisons de penser que cette association est le résultat d'une longue coévolution.



TU CROIS VRAIMENT QUE TU  
ARRIVERAS À COURIR PLUS  
VITE QUE LUI AVEC TES  
BASKETS ?

NON, JUSTE PLUS  
VITE QUE TOI !



On peut aussi voir des interactions exclusives entre plantes et insectes alors que la pollinisation n'est pas en jeu. Par exemple, certaines espèces d'acacias d'Afrique centrale ont des épines creuses à la base des feuilles, qui sécrètent du nectar. Ces épines creuses constituent le nid de certaines espèces de fourmis qui se nourrissent de ce nectar. Quant aux fourmis, en se déplaçant à la surface de la plante, elles la débarrassent des insectes herbivores qui voudraient la consommer. Ce système est probablement le produit de la coévolution : les épines creuses et le nectar de la plante n'auraient pas pu s'installer durablement sans que cela ait été avantageux d'abriter ces fourmis. De même, les fourmis n'auraient pas adopté ce comportement de nidification dans les épines et de récolte du nectar sans que cela ne leur apporte un bénéfice. Un changement évolutif dans la morphologie d'une plante est par exemple susceptible d'affecter la morphologie de l'herbivore qui la consomme, qui, à son tour, peut affecter la morphologie de la plante, et ainsi de suite.

## *Adaptation et bricolage évolutif*

Une adaptation est un trait devenu commun dans une population car il confère certains avantages aux individus dans un environnement donné. Les adaptations correspondent à des fonctions apparues par mutation et installées dans les populations par élimination successive des autres traits moins avantageux. Elle est donc le produit de la sélection naturelle.

Remontons dans le temps, à l'époque où les ancêtres des animaux terrestres regardaient encore avec envie tous ces nouveaux territoires à conquérir. Certains de ces poissons qui barbotaient au bord de l'eau possédaient une petite expansion viscérale, au départ insignifiante. Celle-ci a peu à peu évolué en poumons, un caractère aujourd'hui commun à tous les vertébrés terrestres et les poumons sont une adaptation au milieu terrestre.

La sélection naturelle fait donc du neuf avec du vieux. Un autre exemple frappant de bricolage est celui des ailes des chauves-souris. Il y a quelques centaines de milliers d'années, les ancêtres des chauves-souris ne savaient pas voler. Ils possédaient quatre membres : deux bras et deux jambes, comme nous. Par la suite, l'écart s'est creusé entre ceux qui avaient des grandes mains palmées et les autres. Petit à petit, la caractéristique avantageuse « grandes mains palmées » est devenue de plus en plus courante dans l'espèce au point qu'aujourd'hui, ces mêmes mains sont « transformées » en ailes, très bien adaptées au vol.

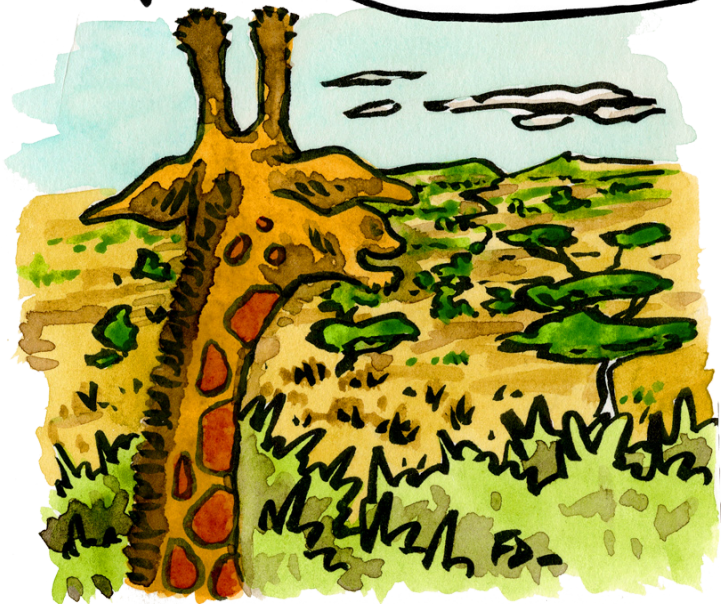
Pour autant, tout n'est pas adaptatif. Trouvez un coin tranquille et touchez-vous le prolongement de la colonne vertébrale, au niveau du haut des fesses. L'émotion estompée, il est facile de comprendre que votre coccyx est le reste d'une queue ancestrale. Ce

ON A DIT QUE NOTRE LONG COU ÉTAIT  
UN AVANTAGE SÉLECTIF POUR MANGER LES  
FEUILLES HAUTES ...

LAISSEZ-MOI RIRE!

C'EST AVANT TOUT UNE VUE  
MAGNIFIQUE GRATUITE TOUTE  
L'ANNÉE !

REGARDEZ-EN ÇA...



caractère n'apportant ni avantage ni inconvénient, l'évolution ne l'a pas éliminé à cause d'une trop faible pression de contre-sélection et/ou d'un manque de temps.

## *Le meilleur des mondes ?*

La sélection naturelle produit parfois des adaptations qui nous paraissent tellement extraordinaires ou tellement bien faites qu'il pourrait être tentant de penser que c'est une force surnaturelle, poussant les organismes toujours plus loin vers le progrès et la perfection. Ce n'est pas le cas.

En premier lieu, la sélection ne produit jamais rien de parfait. Si vos gènes sont « plutôt bien adaptés », vous aurez de bonnes chances de les transmettre à la génération suivante – pas besoin d'être parfait. Aucun organisme n'est parfaitement adapté : nous sommes tous porteurs (parfois sains) de maladies génétiques. Toutes les plantes ne portent pas les gènes qui leur permettraient de survivre à la sécheresse, et un prédateur est rarement assez rapide pour attraper une proie chaque fois qu'il chasse.

En second lieu, il est plus correct de parler de la sélection naturelle comme d'un processus plutôt que comme d'une « force ». La sélection naturelle est le simple résultat d'une reproduction plus ou moins efficace de variantes génétiques ; elle n'a pas plus de but que la gravitation universelle. Elle « n'essaie » pas de produire un progrès ou un écosystème en équilibre, son mécanisme ne retient, aux hasards environnementaux près, que les assemblages de gènes qui parviennent à se reproduire, dans un environnement donné.

... ET LA TÉLÉRÉALITÉ ENVAHIRA  
NOS ÉCRANS, ET TOUTES LES  
CHAUSSURES GAUCHES DISPARAÎTRONT,  
ET LES BOCAUX DE CORNICHONS  
RESTERONT FERMÉS À JAMAIS,  
ET...



## *Encadré* : et si on déroulait à nouveau le film de la vie ?

La vie est une histoire qui se déroule, comme un film. Que se passerait-il si on rembobinait la pellicule pour repasser le film ? Derrière cette métaphore proposée par Stephen Jay Gould, un célèbre évolutionniste, se pose la question de la contingence en évolution. En d'autres termes, les 3,5 milliards d'années d'histoire du vivant se répèteraient-elles à l'identique si on devait tout recommencer ? Car à la différence d'un scénario bien ficelé, le script de la vie pourrait bien s'écrire au gré des hasards et des soubresauts de l'histoire. On entend par « hasard » le fait, par exemple, que les causes d'une mutation apparue à un moment donné sont dissociées de ses conséquences futures avantageuses ou pas. Si on regarde à une autre échelle, l'histoire de la Terre a été marquée par d'importants épisodes d'extinctions massives d'espèces. La plus connue est celle qui a vu disparaître les dinosaures qui régnaient alors sur le monde. La collision entre la Terre et une énorme météorite, ajoutée à de très intenses phénomènes volcaniques ont probablement produit dans l'atmosphère d'immenses quantités de poussières et de cendres, entraînant des changements climatiques et écologiques qui seraient à l'origine de cette extinction. Les petits mammifères de l'époque vivant dans les terriers s'en sont alors mieux sortis. La chance avait tourné, alors que rien avant l'explosion ne laissait présager de la suite de l'histoire.

## *En guise de conclusion :* *ce que l'évolution n'est pas*

La sélection naturelle est souvent présentée comme un processus aléatoire. Les variations qui apparaissent par mutation sont bien aléatoires, mais la sélection qui fait le tri de ces variations ne l'est pas du tout. Les variantes qui augmentent la survie et la reproduction ont simplement plus de chances de devenir communes que les autres. « Avoir besoin », « essayer », ou « vouloir » ne sont donc pas des mots appropriés pour expliquer l'évolution. L'évolution ne veut rien et n'expérimente rien. Une population ou un individu ne veut pas évoluer, et la sélection naturelle n'essaie pas de fournir à un organisme ce dont il pourrait avoir besoin. L'évolution est simplement le résultat de l'interaction permanente et à toutes les échelles du tri qu'exerce l'environnement entre les variations qui existent parmi les différents individus. Point final.



# Glossaire

**Acide aminé** : petite molécule dont l'enchaînement constitue les protéines.

**Allèle** : une des versions d'un gène.

**Arbre phylogénétique** : représentation des relations évolutives entre espèces.

**Chromosome** : long fragment d'ADN.

**Environnement** : ensemble des éléments physiques (air, eau, roches...) et biologiques (êtres vivants) qui composent le milieu de vie d'un organisme.

**Forces évolutives** : mécanismes responsables de l'évolution des fréquences des allèles, au cours des générations. Force ne signifie pas pour autant intentionnalité : pensons à la gravité.

**Gène** : portion d'information génétique, portée par une molécule d'ADN et héritable.

**Génome** : ensemble du matériel génétique d'un individu.

**Génotype** : combinaison des allèles au sein d'un individu.

**Phénotype** : expression du génotype d'un individu en interaction avec son environnement.

**Espèce** : ensemble d'individus qui peuvent potentiellement échanger du matériel génétique par reproduction.

**Population** : ensemble d'individus d'une espèce qui échangent effectivement du matériel génétique par reproduction.



## REMERCIEMENTS

Ce document a été rédigé par Vincent Bonhomme, Aurélie Cailleau, Rémy Froissart, Romain Guerreiro et Pierre-Jean Malé sur la base d'un document initialement produit par l'Université de Berkeley, appelé Evolution101. Nous saluons les auteurs initiaux pour leur initiative et nous les remercions de nous avoir concédé les droits, initialement pour sa traduction et aidés de Jean-Christophe Auffray, ce qui nous a finalement motivés pour sa réécriture intégrale.

Nous remercions chaleureusement Patrice David, Guillaume Lecointre, Timothée Poisot et Jean-Pierre Vigouroux pour leurs relectures attentives et précieuses, ainsi que Aimeric Blaud, Alban Gassenq, Florence Matutini, Jean-François Barczi, Jean-Marie Dupont, Julien Joubert, Laurence Bordenave, Pascale Delteil, Patrick Bonhomme, Philippe Danton, Renaud Certin, Sébastien Beyou, Thomas Laisné et Vanessa Viera Giraldo pour leurs précieux commentaires sur les toutes dernières versions de ce document.

## LICENCE

L'intégralité du contenu est placée par Plume! sous licence libre Creative Commons by-nc. Sa diffusion papier et électronique est donc encouragée. Vous êtes libres d'utiliser tout ou partie de ce document dans le cadre d'une utilisation non commerciale à la seule condition de nous citer comme suit :

Plume!  
Réseau national  
de vulgarisation scientifique  
[www.plume.info](http://www.plume.info)

Les dessins ont été réalisés François Dolambi pour Plume!.

Pour toute autre utilisation, nous nous ferons une joie de vous répondre ([contact@plume.info](mailto:contact@plume.info)) et faciliter la diffusion du document.

**Illustrations : François Dolambi ([www.fdolambi.com](http://www.fdolambi.com))**  
**Graphisme et maquette : Violette Roche**  
**Font : Lobster 1.4 sur [www.impallari.com/lobster](http://www.impallari.com/lobster)**



# Plume!

Réseau national de vulgarisation scientifique

*L'évolution biologique, c'est la modification au cours du temps des caractéristiques biologiques des êtres vivants. Les grandes lignes de l'évolution sont faciles à saisir. Il nous suffira d'acquérir quelques rudiments de génétique et de comprendre le fonctionnement des forces évolutives. Rajoutons quelques facteurs écologiques, un peu de temps et nous saurons comment apparaissent et se modifient les espèces.*

.....

Avec le concours financier de l'Université Montpellier 2 et de la ville de Montpellier. Ce projet a également bénéficié du soutien financier de l'Université de Bourgogne et du CROUS de Dijon.

Plume! remercie également les auteurs de l'excellent ouvrage *Biologie évolutive* (réalisé sous la direction de Frédéric Thomas, Thierry Lefèvre & Michel Raymond et publié en 2010 aux éditions *De Boeck*) dont les bénéfices liés à sa vente permettent à des projets en lien avec la biologie de l'évolution, dont *Evo 101*, de bénéficier d'une plus large diffusion.

