



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Comptes Rendus Palevol

www.sciencedirect.com



Paléontologie générale, systématique et évolution

L'espèce entre résilience et sérendipité

Species between resilience and serendipity

Philippe Lherminier

Château du Fontenil, 61300 L'Aigle, France



I N F O A R T I C L E

Historique de l'article :

Reçu le 15 mai 2013

Accepté après révision 31 juillet 2013

Disponible sur internet le 31 octobre 2013

Mots clés :

Résilience

Sérendipité

Espèce

Spéciation

R É S U M É

Ce texte est une réflexion personnelle plutôt qu'une démonstration. Il met en rapport deux caractères de l'espèce : la résilience qui lui permet de résister même à de fortes perturbations, et la sérendipité qui la fait changer de façon opportuniste, même sous des perturbations faibles. La stabilité des espèces est une question aussi intéressante que leur évolution. En général, les relations qui unissent les membres d'une espèce se perpétuent inchangées pendant des durées immenses. La résilience d'une espèce est l'ensemble des propriétés anti-aléatoires ou homéostatiques qui maintiennent l'ordre des relations, donc l'unité et la stabilité : maintien de la ressemblance par sélection adaptative, maintien de l'unité géographique par brassage des populations, maintien de la communauté reproductive par sélection sexuelle. Cependant, il arrive qu'un nouvel ordre de relations se substitue au précédent, non pas en continuité avec l'espèce initiale, mais en rupture. La sérendipité, définie comme l'usage intelligent du hasard, s'applique à cet ensemble d'événements à la fois aléatoires et favorables qui ont pour conséquences la naissance d'une espèce nouvelle. Celle-ci est une « invention » qui apparaît par l'usage inattendu, opportun et non sélectif d'organes et de fonctions nouveaux — peut-être l'essence de l'évolution. Le rapport résilience conservatrice/sérendipité novatrice est illustré par plusieurs exemples : les animaux domestiques, le mimétisme, les insectes phytophages, les polyploïdes, puis étendu à un modèle général de spéciation. Enfin, les rapports avec l'*intelligent design* doivent être clarifiés : la sérendipité comme la résilience ne sont pas des vertus ordonnatrices présentes et à l'œuvre dans la nature (ni au-dessus), ce sont des catégories de jugement du naturaliste.

© 2013 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

A B S T R A C T

This paper is a personal reflection rather than a demonstration. It discusses the relationship between two properties of species: **resilience**, which allows species to resist perturbations, and **serendipity**, which allows them to change even under weak perturbations. Among the great problems raised by the transformation of species, the most astonishing fact is that species are extraordinarily stable. This stability, to which we hardly pay attention, is part of our everyday life, up to the point that it forms the basis of our deepest thought, the eternal Ideas of Plato and the substance of Aristotle. This suspected stability has also been used to support doctrines of the loathed creationists. All the definitions of species, even the arbitrary boundaries and nominalist conventions, bear the embarrassing sign of resilience, which contradicts the idea of evolution.

© 2013 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Keywords:

Resilience

Serendipity

Species

Speciation

Adresse e-mail : phlherminier@wanadoo.fr

Abridged English version

For Lamarck and Darwin, “species” represents the worse enemy: species or evolution, we must choose. We had to wait for Cuénot and Dobzhansky to understand this alternation of species and speciation, that is to say alternation of resilience and serendipity. Another difficulty is the famous question of the discontinuity of Nature. Indeed, Darwin (1859: 462) emphasizes the fact that “As on the theory of natural selection an interminable number of intermediate forms must have existed, linking together all the species in each group by gradation...”. Evolutionary continuity through gradual change is the opposite of the existence of clearly defined species. According to this model, variations within and between species form a continuum, in such a way that new species are almost extensions of their ancestors. This pattern reveals two problems: by removing the boundaries between species, species themselves are destroyed, and establishing continuity destroys novelty. The third difficulty is that selection does not imply evolution. In most cases the ceaseless work of a dreadful activity of selection does not create but kills in order to preserve. We had to wait for Darwin’s genius to understand that selection also preserves novelties.

Resilience of species

Resilience of species is the indefinite upholding of adaptive and reproductive bonds of a community of individuals between some limits of variation. Species may offer the most perfect model of resilience to be found in nature. We can take the famous example of *Drosophila melanogaster*, which has reproduced for five million years at a rate of 20 generations a year, that is to say a hundred million generations. Thus, this emblematic kind of species linked to theories and experiments on evolution, able to respond in 6 months to the most unexpected selection protocols, nevertheless shows its stubborn stability. We know mollusk species that have remained stable for millions of years, such as dentals (*Dentalium*) known since the Lias. Various notions such as stickiness, absorption, and elasticity are not appropriate to describe the resilience of species because they imply too much passivity. Evolutionary inertia refers to the upholding of structures and functions such as cellular division, replication of DNA and so on, which are indeed well preserved; phyletic inertia of type in evolutionary lineages, the bird type or the tortoise type, leaves no room for species novelties. One of the most interesting properties of species is the ability to erase some variations and to preserve others, almost as a “memory” of the genome. Resilience allows *Drosophila* to effectively “remain itself”: migrants move away and come back, adaptations evolve in some circumstances and disappear, sexual variants and developing variants occur and are subsequently reduced, the memory of genetic accidents is lost, the only ones that survive are essential relationships that are called fixed memory. The resilience of species is one of the key values of the environmental balance. The example always quoted is that of the forest fire followed by the slow or quick return toward the initial state and the restoration of the system that is rightly called the cycle of species. Canalization of

development, mutual adaptation of organs and of functions to the way of life and to environment, and for populations, geographic exchanges, natural and sexual selection, all lead species to form naturally homeostatic groups.

Serendipity

Serendipity refers to the lucky and intelligent resort to the unexpected or to chance: the discovery of America and of penicillin was unexpected but Christopher Columbus and Sir Alexander Fleming were clever and enterprising; in that way they took advantage of the circumstances thanks to their knowledge and their skill. Of course, neither serendipity nor intelligence is present in nature and this is obviously a metaphor which is used to talk about the evolution of species. In that way species serendipity can exploit (rather than understand or invent) atypical circumstances rapidly and creatively. It is a frame of mind, an ability, a skill that is productive without a definite reason. Active, which means that it is the opposite of passive drift; it is consequently innovative. It is also the opposite of the return to the initial order called resilience. Serendipity does not mean power either, a concept from Aristotle’s logic when he analyses the final accomplishment of an action: the acorn comes from the oak tree and it has a potential existence in the next oak tree; embryology follows a linear causality without chance or extrinsic link. And yet, it is not true to say that a species potentially exists in another species, precisely because of chance. Serendipity is the result of creative and relational factors that lead to new solutions discovered by chance. The birth of a new species is improvisation; this is why we can quote laws in physics but we can never do it for evolution. If evolution began again, or on another planet with the same chemistry, it would produce a completely different world. The key question of speciation is: how do new beneficial bonds occur? Serendipity is a qualitative jump, it is not merely an extension of adaptive gradual and continuous evolution; on the contrary, it establishes a new regime that by nature—and that is at this point essential—could not have existed previously, so it could not have been selected.

Domestic breeds

Domestic breeds are the archetype of *The Origin of Species*. The first objection against Darwin’s theory leads us precisely to the future of domestic breeds: abandoned to their fate, they all go back to their wild or natural primitive state. Take the example of Corsican bighorn sheep, which are domestic sheep returned to their wild state. We have already mentioned *Drosophila*, which has been submitted to the most extraordinary selective experiments for a century: no lineage abandoned to itself has ever succeeded in maintaining its features; all the evolutionary divergences initiated in the laboratory have failed, and extant lineages have all become wild again; in particular, no sexual isolation has ever been durably established. The gradual model of selection of a race or a lineage in the aim of producing a new type of species remains inadequate; always and everywhere **resilience** prevails. The **serendipity** of domestication resorts to the intelligent use of abilities of animals

or plants that remained unused in the natural state. The shepherd who breeds sheep to eat them does not innovate. On the contrary, to shear sheep in order to knit a pull-over or to milk a ewe to make cheese is a radically new idea that was not present in the abilities or in the natural functions of sheep. The wool or the milk is not “made” for mankind, but mankind has known to make finely-woven material or cheese. From that point of view domestication is neither due to chance nor to the result of a natural evolution; it is the unexpected and lucky encounter of some species with some skillful men, which has opened a beneficial treasure for everybody since domestic animals can be counted as thousands of millions of them henceforth. Thanks to its cuddly character, the domestic cat abounds whereas the wild cat is aggressive and is disappearing: the serendipity of cat-loving mummies has played in favor of the former. Is there **natural** serendipity? Yes, speciation is serendipitous.

Passable mimicry

Mimicry is the best-known example of natural selection. If a butterfly of an edible type of species looks like another one with an acrid taste that birds have learnt not to eat, it is in its turn protected: it is what we call Batesian mimicry. To succeed, the mime must look as much as possible like its model. Selection eliminates bad imitators and perpetuates the best; thus, mimicry improves itself. However, there is a difficulty: what is the initial origin of the signal of protection? How can a butterfly become the mime of another one knowing that there had been no likeness before? It is really due to chance that this new relation becomes established — just as we can say that the double of a famous person has not chosen his model. That is the reason why we should distinguish two stages: the origin of mimicry and its improvement: (i) passable mimicry: a single spot appears that acts by chance as a passable signal for birds; (ii) achieved mimicry: a selective process improves the performance, like subtle patterns of the wings, time of hatching, geographic repartition, and so on. This process is serendipitous since it rewards the invention of this lucky and intelligent butterfly, whereas the second stage is adaptive and resilient since it punishes the awkward one.

Specialist phytophages

Two insects copulate, the female lays its eggs, the larvae eat, then once again adults of opposite sexes look for each other, always on the same tree. The three stages of the cycle — eating, copulating and laying eggs — appeal to clearly distinct, precise functions that are presumably genetically independent but selectively coordinated and preserved. Any deviation from the rule is punished, which insures resilience of the species. The *Rhagoletis* fly, which lived in America on the hawthorn called *Crataegus*, in 1864 discovered the apple trees imported from Europe, to which it was obviously maladjusted, but as the apples were numerous and nutritious, it succeeded in colonizing this plant. The shifting host must immediately adapt its whole reproductive cycle: male insects tend to gather on fruit from the host where they were born, female insects also prefer to lay their eggs on the fruit they come from, and the length

of their ovipositor is host-dependent. Larvae from apple trees are metamorphosed in 16 days and hatch 10 days earlier than those of the hawthorn, whose fruit appears later. Thus, hybridization between the two races is restricted. The characters involved in host changes depend on independent genes; however, they are miraculously synchronized, thanks to a lucky combination of circumstances. Authors sometimes say that this speciation is “magic”.

Tetraploid flowers

Tetraploid plants may sometimes appear among diploid populations. These new plants are large, strong and fertile, but the fertilization with diploids yields sterile triploids. How can two rare, isolated tetraploids born by chance recognize and find each other among the multitude of diploids? How can they precisely hold the pollen of a rare tetraploid flower and precisely pollinate another that is equally rare? Once again chance will play in their favour. Tetraploid flowers are larger, and since insect pollinators visit flowers that are as large as they are, they choose tetraploids and achieve a selective fertilization among these rare flowers, exactly as we were longing for! Straightaway, a pre-zygotic sexual isolation is set up. It is really a happy and unexpected serendipity that uses these insects as soon as they are needed. We can notice that pre-zygotic and post-zygotic isolations are immediate and achieved without selection. The challenge of a specific fertilization is solved in a simple and even elegant way. We can say that the new tetraploid species results from an intelligent use of chance.

Conclusions

The loss of geographic, phyletic or sexual relations is a deprivation, which eliminates without creating, and thus, it is not the very cause of speciation. The only evolutionary event is when new species discover lucky novelties. That is why speciation is rare and unexpected. The famous recapitulatory law and modern evo-devo argue from a deceitful analogy between embryogenesis and the story of life. However, two causalities are irreducible to one another, since embryonic development is the undefined and canalized repetition of a module fighting endlessly against chance, whereas on the contrary, the appearance of a new species comes through the use of chance, which does not repeat itself. Resilience of development and serendipity of evolution are opposite. The new child keeps in himself the contents of species, but the new kind of species is never kept in the preceding. The events that allow species A to go to species B have nothing to do with those leading from B to C, and that is why we can speak neither about the law of discoveries nor of evolution. Serendipity means the unexpected and amazing appearance of a new area of relations, a new profile of resilience. The novelty of a mutation is sometimes insignificant: it can have occurred several times without being retained, until the day when some circumstances exploit it, by reusing it in a radically original way. Evolution seems intelligent; however, serendipity is neither a property nor a function. The stick insect is not intelligent; the kind of intelligence we refer to is not a power present in nature (nor above it). Resilience

and serendipity are not causes and explain nothing; on the contrary, we have to find their causes and we must explain them. They belong to epistemological categories of our thoughts through which we judge some facts that are particularly noteworthy.

1. Introduction : espèce ou évolution

L'origine des espèces a mobilisé depuis deux siècles presque tous les domaines des sciences de la vie pour en écrire l'histoire ou pour en comprendre les mécanismes, au point que le mot *biologie* enveloppe à peu près le même contenu que le mot *évolution*, si l'on en croit la phrase fameuse de Dobzhansky selon laquelle rien n'aurait de sens en biologie sans la théorie de l'évolution. Parmi cette foule de questions passionnantes posées par la transformation des espèces, il en est une si évidente qu'on l'oublie parfois : les espèces sont extraordinairement **stables**. Stabilité à laquelle on ne prête guère attention tellement elle fait partie de notre quotidien, au point d'être sans doute à l'origine de nos catégories de pensée les plus fondamentales, les Idées éternelles de Platon, et la substance d'Aristote, assez décriées d'ailleurs, enfin et pire que tout, stabilité suspectée de conforter les doctrines des créationnistes abhorrés et de servir les intérêts de l'Intelligent Design sulfureux. Notons que le nominalisme ne s'en sort pas mieux : il a beau nier la réalité de l'espèce en affirmant qu'elle n'est qu'un nom donné à un regroupement arbitraire, ceci n'ajoute aucune idée de changement mais au contraire confirme sa permanence, justement par convention. Inévitablement, le mot espèce enveloppe toujours une certaine idée de subsistance. La nomenclature linnéenne des espèces est une convention langagière formelle et non pas un argument factuel ; toutefois, elle n'aurait jamais réussi parmi les naturalistes sans la conviction qu'elle s'appuyait sur un socle stable, au point de survivre à la révolution darwinienne. La règle de **priorité** est un « principe fondamental de la nomenclature zoologique » (*Code zoologique... 1999 : préambule*), selon lequel le nom le plus ancien (depuis 1758, Titre I) s'applique dans les cas où le même taxon est désigné deux ou plusieurs fois par des noms différents. Sans doute le seul exemple dans le corpus du savoir scientifique d'un droit d'aînesse par lequel une certitude l'emporte sur d'autres du seul argument de son antériorité.

Les premiers transformistes devaient résoudre cet imbroglio : ou bien les espèces sont réelles, leur subsistance essentielle et leurs variations accidentelles, mais alors l'évolution est impossible ; ou bien l'évolution est réelle, la variation essentielle, mais dans ce cas les espèces ne sont qu'une relation accidentelle. Lamarck et Darwin pour une fois d'accord n'ont pas de mots assez durs pour montrer que l'espèce est illusoire. Par exemple, Lamarck (1778, *Flore française* : V) : « Les noms ne sont que de pures conventions nécessaires, à la vérité, pour nous entendre, mais absolument étrangers à la marche de la Nature » ; et Darwin (*De l'origine des espèces* : 52) : « Je ne considère le terme d'espèce que comme arbitrairement appliqué pour plus de commodité à un ensemble d'individus ». Ceci au grand dam des naturalistes qui se sentent bien frustrés, puisqu'ils consacrent leur vie à nommer des espèces ! Il faut attendre les années 1920–1930 pour que s'imposent les notions

d'espèce naissante avec Cuénot (1911) et de spéciation avec Dobzhansky (1937), et il faut attendre la révolution cladistique pour que se mette en place une classification vraiment évolutive et phylogénétique dont rêvait d'ailleurs Darwin. Espèce et évolution sont réconciliées, pourtant il demeure difficile d'expliquer comment les mêmes structures peuvent tour à tour demeurer stables presque sans fin ou changer presque instantanément, comment expliquer le mobile par l'immobile, comment réconcilier *pattern* et *process*.

L'espèce *Drosophila simulans* diffère si peu de *Drosophila melanogaster* qu'on les confondait et pourtant elles sont séparées depuis environ 5,4 Ma (Tamura et al., 2004). Ceci montre que les changements morphologiques survenus depuis l'ancêtre commun sont faibles. Ainsi, cette espèce emblématique des théories et des expériences sur l'évolution, capable en six mois de répondre aux programmes de sélection les plus insolites, se reproduit presque à l'identique au rythme de 20 générations par an, soit 100 millions de générations. Les espèces d'ammonites phyllocératacés et les lycocératacés ont des durées de vie jusqu'à 20 Ma (Mahé et Devillers, 1983), celles des dentales seraient fixes depuis le Lias, soit 180 Ma. Ces exemples ne signifient pas que rien n'a changé dans ces espèces, mais que les changements ne dépassent pas les limites assignées à l'espèce — de même qu'il existe un polymorphisme géographique, de même l'espèce varie au cours du temps, mais elle reste cette espèce — dans les limites de cette enveloppe que les naturalistes appellent une espèce, et que nous ne discuterons pas (Lherminier et Solignac, 2005).

Une profonde difficulté posée par l'espèce est la fameuse question du **saut de la nature**. En effet, Darwin souligne « les degrés de transition infiniment nombreux que requiert sa théorie » (*De l'origine des espèces* : 480). Il suppose une continuité évolutive, un glissement progressif, donc l'absence d'espèces bien tranchées ; mais pourtant les discontinuités et les stabilités sont bien là, qu'il faut justifier (Huxley à Darwin, du 23 novembre 1859, *Correspondence... (Darwin, 1985)*, veille de la publication de *L'origine des espèces* : « nous nous sommes encombrés nous-mêmes d'une difficulté inutile en adoptant sans réserve *Natura non facit saltum* »). Selon son modèle, la variation est continue à l'intérieur de chaque espèce et à leur tour les espèces sont en continuité l'une après l'autre, de sorte que l'espèce nouvelle est une sorte de prolongement de l'espèce précédente — le tigre est un chat devenu de plus en plus gros et qui mange des moutons comme l'autre des souris. Ce modèle a deux défauts : en supprimant les limites entre espèces, c'est l'espèce qu'il supprime, et en instaurant la continuité il supprime l'innovation radicale. Ou bien l'espèce nouvelle prolonge les adaptations de l'ancienne et on ne voit pas bien où est l'évolution, ou bien l'espèce nouvelle innove et alors il y a bien quelque part un changement identifiable.

Les **équilibres ponctués**. Eldredge et Gould (1972) ont lancé un battage médiatique en annonçant que la dialectique espèce/spéciation avait, comme disent les journalistes, « dépassé Darwin ». Ces auteurs commencent par rejeter le gradualisme de Lamarck et Darwin, jugé, comme nous l'avons dit, peu compatible avec la fixité durable des espèces. Ensuite, ils identifient froidement les stases

et sauts repérés dans les strates fossilifères comme étant des successions d'espèces et de spéciations. L'étudiant le plus occasionnel sait que les rythmes de l'évolution sont variables, que les fossiles les plus stables choisis comme marqueurs alternent avec des changements qui sont eux-mêmes, tantôt rapides, tantôt lents – sans parler des lacunes d'échantillons. En réalité, les événements génétiques fins qui régissent aussi bien la stabilité des espèces que la naissance des nouvelles, sont le plus souvent hors de portée des paléontologues, parce que la maille paléontologique est beaucoup trop grossière.

2. Espèce et spéciation

Nous mettons en rapport deux caractères de l'espèce : la **résilience** lui permet de résister même à des fortes perturbations, et la **sérendipité** la fait changer de façon opportuniste, même sous des perturbations faibles. Ces termes ne cachent ni de cause *ad hoc* ni de vertu stabilisante ou spécifiant qui dirigeraient comme par diablerie les ressorts secrets de l'évolution, mais sont les mots qui parlent le mieux en rapprochant deux aspects alternatifs des relations. Dans cette réflexion personnelle, les exemples n'ont pas de valeur de démonstration, mais d'illustration.

2.1. Résilience

Les espèces maintiennent indéfiniment leurs relations adaptatives et reproductives en dépit de variations considérables. L'espèce offre peut-être le modèle de résilience la plus parfaite de la nature. Au contraire des civilisations humaines, des montagnes et des continents, et jusqu'aux astres qui vieillissent et disparaissent sans espoir de restitution, l'espèce se conserve le plus fidèlement, sans limite assignable.

Diverses notions telles que **viscosité**, **amortissement**, **élasticité**, ne conviennent pas parce qu'elles enferment trop de passivité et d'inaction. Trop de passivité encore dans le concept d'**inertie** évolutive, qui désigne le maintien des structures et des fonctions telles que division cellulaire, réplication, correction, etc. en effet très conservées, au point que nous partageons avec les levures 30% de gènes. L'inertie phylétique du **type** dans les lignées évolutives, le type oiseau, le type fourmi ou tortue, est certes un trait conservateur de l'évolution (Boyd, 2010), mais ce concept tend à minimiser les découvertes de chaque espèce, et ceci est grave, car la spéciation est justement le seul événement évolutif.

Une des propriétés les plus intéressantes de l'espèce est son aptitude à gommer certaines variations et à conserver la **mémoire** des autres. Véritable fonction active d'effacement grâce à laquelle cette drosophile reste cette drosophile : des migrants s'éloignent puis reviennent, des adaptations s'installent dans certaines circonstances puis disparaissent, des variants sexuels et du développement surviennent puis sont résorbés, seuls les variants neutres, précieux marqueurs moléculaires, échappent à toute régulation. Si les polymorphismes traversent même les espèces, c'est qu'ils en sont indépendants. De même que dans son aire d'extension l'espèce se diversifie, de même, au cours du temps, les gènes changent, mais l'espèce

reste « la même » ; ou inversement, les espèces changent d'un site ou d'une époque à l'autre, mais partagent ou se transmettent les mêmes gènes. En définitive, les arbres des gènes ne recouvrent qu'imparfaitement les arbres des espèces (Nichols, 2001). On peut faire par exemple l'histoire de l'hémoglobine depuis 500 Ma, avec l'ordre et même la date de certains changements, sans connaître aucune des espèces qui la portaient. L'hétérobatmie des caractères, c'est-à-dire leur évolution à des cadences irrégulières et différentes l'un de l'autre, est la meilleure preuve de cette indépendance : ils changeraient tous ensemble à chaque spéciation s'ils en dépendaient. Vavilov (1922) appelle polymorphisme partagé la présence, chez diverses plantes, de mêmes mutants qu'il considère apparus une fois puis diffusés et transmis dans diverses lignées. Le paradoxe est à son comble, puisque certains traits sont variables dans l'espèce (polymorphisme) et communs entre espèces (partagé).

Au passage ceci tord le cou à une erreur traditionnelle : chaque espèce aurait une vie, espèce jeune et pleine de potentiel, espèce vieillissante à son acmé. Rien n'est plus faux, une espèce peut être récente ou ancienne, mais non pas jeune ou vieille. Au fil des temps les adaptations changent, les variations aléatoires s'accumulent au point de servir d'horloge, mais jusqu'au dernier survivant chaque espèce conserve les mêmes relations, les ressemblances n'ont pas d'âge, ni la descendance ni les rapports sexuels ne s'usent. Et si vraiment les changements sont trop forts, alors ce n'est pas l'espèce qui est « vieille », c'est une espèce nouvelle, et cela s'appelle l'anagenèse.

La résilience de l'espèce est une des valeurs clés de l'équilibre écologique. L'exemple toujours cité de l'incendie d'une forêt suivi du retour plus ou moins rapide vers l'état initial et la restauration du système, est justement appelée cycle des espèces. Cette restauration est progressive et peut-être incomplète, car certaines espèces peuvent manquer ou d'autres auparavant absentes, s'installer, mais une chose est sûre : l'espèce qui revient est exactement celle qui avait disparu. Après un désastre, son retour est plein et entier, on peut faire confiance, il ne reste comme traces de son crash que les marqueurs neutres, déjà cités. Une espèce est faite de relations en perpétuel retour sur soi, et son maintien identique à elle-même est un signal fort : **canalisation** du développement, adaptation mutuelle des organes et des fonctions au mode de vie et à l'environnement, pour l'individu, et pour la population, échanges géographiques, sélection naturelle et sexuelle. On peut conclure par une définition bien frappée : l'espèce est un groupe naturellement **homéostatique** (Boyd, 2010).

2.2. Sérendip

Sérendip est un des noms de Ceylan ou Sri Lanka où se récite un conte dans lequel trois frères sont soumis à diverses épreuves dont ils triomphent grâce à leur intelligence. La sérendipité dans son sens le plus commun désigne l'utilisation heureuse et intelligente de l'imprévu ou du hasard : la découverte de l'Amérique ou de la pénicilline étaient imprévues mais les navigateurs ou les biologistes étaient habiles et entreprenants, si bien que leur savoir et leur compétence ont su tirer parti des circonstances. La

sérendipité décrit d'abord le mouvement de notre intelligence, lorsqu'elle se tend vers la recherche des causes. Elle se fonde sur un raisonnement, elle est donc réservée à la pensée consciente, à la sagacité du chercheur dans ce qu'elle a de plus pointu, elle est donc assez proche de l'abduction de Peirce (1984), la recherche d'une explication générale à partir d'un exemple, ou de la rétrodiction, la recherche des causes passées. Mais au raisonnement logique s'ajoute l'idée de « hasard » des faits. On connaît la phrase de Pasteur « dans les champs de l'observation le hasard ne favorise que les esprits préparés ». Les scientifiques se méfient à juste titre du mot « hasard », si le mot dérange on parlera alors de concours de circonstances. Ainsi, Christophe Colomb n'a pas rencontré l'Amérique par hasard car elle barrait sa route, mais cette rencontre était indépendante de son projet.

L'espèce nouvelle est en rupture avec les états précédents mais non pas un saut dans l'inconnu. D'abord elle doit l'essentiel de ses traits à l'espèce précédente et ensuite ses innovations ne sont pas quelconques, ce que justement la sérendipité prétend apporter dans le mot « intelligence ». Certes, la sérendipité pas plus que l'intelligence ne sont des fonctions présentes et actives dans la nature, et c'est évidemment par métaphore que nous les rapporterons à l'évolution des espèces. Dans ce sens, la sérendipité des espèces est leur capacité à exploiter (plutôt que comprendre ou inventer) des circonstances atypiques rapidement et créativement. Elle est une disposition, une capacité, une habileté, qui est productive quoique sans but préalable. Active, elle est donc le contraire de la dérive passive, et novatrice, elle est aussi le contraire du retour à l'ordre initial, la résilience. La sérendipité n'est pas non plus la **puissance**, concept issu de la logique d'Aristote lorsqu'il analyse la réalisation finale d'un acte : né d'un chêne en acte, le gland est un chêne en puissance suivant une causalité linéaire, fidèle à son espèce, sans hasard ni relation à des causes extérieures. En revanche, il n'est pas vrai qu'une espèce en ait une autre en puissance — précisément à cause du hasard.

Plusieurs concepts prestigieux importés de la physique, de la théorie de l'information, des mathématiques, cybernétique, théorie des jeux, et autres sciences dures, vers la biologie, font illusion. Ce que l'espèce n'est pas : un attracteur stable, un oscillateur, un réseau complexe, un graphe à boucles de rétroaction positives ; la spéciation n'est pas une rupture de robustesse, ni une catastrophe, ni une variation non dérivable ; l'évolution n'est pas le chaos, ni un îlot de négotropie, ni une résonance stochastique... Tout cet étalage reste terriblement en deçà des besoins des naturalistes. Plus près de la biologie évolutive, les termes « réemploi » ou « bricolage » offrent aussi l'apparence d'une finalité et d'une intelligence naturelle, mais ne soulignent pas assez la part du hasard qui survient brusquement comme pour résoudre une difficulté insoluble ou produire un effet radicalement neuf. Darwin avait déjà eu cette intuition (*La fécondation des orchidées* : 329) : « si un homme construit une machine dans une fin déterminée, mais emploie à cet effet, en les modifiant un peu, de vieilles roues, de vieilles poulies et de vieux ressorts, la machine, avec toutes ses parties, pourra être considérée comme organisée en vue de cette fin. Ainsi dans la nature, il est

à présumer que les diverses parties de tout être vivant ont servi, à l'aide de modifications légères, à différents desseins, et ont fonctionné dans la machine vivante de plusieurs formes spécifiques anciennes et distinctes ». Non seulement le hasard est absent, mais Darwin utilise deux fois « purpose ».

La **préadaptation** (Cuénot, 1914) et l'**exaptation** (Gould et Vrba, 1982) désignent un processus sélectif au cours duquel un organe ou une fonction s'ajuste peu à peu à un service différent du service initial, et comme étranger à l'évolution d'une lignée. Les nageoires des sarcoptérygiens ont évolué en pattes, les plumes des dinosaures avaient une fonction thermique ou de parade puis de vol, dit-on (Turner et al., 2007). Attitude qui trahit notre étonnement devant un changement de destination, rôle, usage, fonction, mais en réalité typologique et finaliste. Les nageoires servent à nager : adaptation — et à marcher : exaptation. En quoi s'aider de ses membres pour ramper au sol serait plus une exaptation que pour progresser en pleine eau ? Dira-t-on que ce qui apparaît est l'exaptation de ce qui précède ou que la cause est préadaptée à son effet ? La sérendipité met l'accent sur deux aspects : le hasard et la réussite immédiate. La sortie de l'eau des tétrapodes ou le vol des oiseaux ne sont pas l'effet d'un hasard mais sans doute d'un très long processus sélectif. D'ailleurs la distinction qui ici nous intéresse n'est pas liée à de telles adaptations, mais bien à celles qui ont un rapport direct à l'espèce. Lors de la spéciation les relations essentielles (Lherminier et Solignac, 2005 ; Rieppel, 2010) changent toujours, elles changent sous l'effet d'un vrai hasard, et ne sont donc jamais préparées dans l'espèce précédente. Le partage géographique ou phylétique, la stérilité de uns envers les autres, sont des pertes accidentelles de relations, jamais des aptitudes. Il est contradictoire qu'une espèce soit préadaptée à se partager pour en devenir ou produire une autre, car cela impliquerait qu'elle organise sa propre rupture. La cladogenèse est le contraire d'une exaptation. Ce sera notre conclusion : dans toute spéciation, il survient forcément un hasard heureux.

Mêmes objections contre l'**émergence**, qui ignore l'imprévu. Quand je dis que les propriétés de l'eau émergent de celles de l'oxygène et de l'hydrogène, je suis certain du résultat, qui est enveloppé dans les données initiales quoique non lisible. Il n'y a pas d'évolution en chimie ou en physique, car c'est toujours le même résultat qui émerge. Tout le contraire est la sérendipité, par nature créatrice et relationnelle et qui amène par hasard à chaque fois une solution nouvelle. La naissance d'une espèce nouvelle est une **improvisation**, c'est pourquoi on peut énoncer des lois en physique mais jamais pour l'évolution. Si l'évolution recommençait, ou sur une autre planète, avec la même chimie pourtant, elle produirait un monde totalement différent. Le maître mot de la spéciation est : comment des relations bénéfiques et imprévisibles surviennent-elles ? Et c'est peut-être ce qui donne à l'évolution une certaine affinité avec la **création artistique**.

La sérendipité est un saut qualitatif, elle ne prolonge pas l'évolution adaptative graduelle et continue ; au contraire, elle instaure un régime nouveau qui par nature — et ce point est essentiel — ne pouvait pas exister auparavant donc ne pouvait pas être objet de sélection. Edison n'a pas inventé

l'ampoule électrique en cherchant à perfectionner les bougies.

3. Exemples

3.1. Les races domestiques

L'origine des espèces s'ouvre par un des textes les plus géniaux de Darwin, l'origine des races domestiques sous l'effet de la sélection artificielle. Il étend ensuite ce modèle à la sélection naturelle, et les races domestiques deviennent l'analogon des espèces.

3.1.1. La résilience des races domestiques

La première objection opposée à Darwin porte précisément sur le devenir des races domestiques : abandonnées à elles-mêmes, toutes sans exception retournent à leur état primitif sauvage ou naturel, sous l'effet d'une « force de rappel » à vrai dire assez mystérieuse mais qu'il faut bien considérer comme adaptative et sélective, sous peine de contradiction insupportable. Les traits économiques améliorés par des générations de sélection ne se maintiennent pas mais au contraire les animaux retournés à l'état libre (marronnage) retrouvent ou conservent les caractères primitifs de l'espèce, notamment la rusticité. Par exemple, les mouflons de Corse sont des chèvres domestiques retournées à l'état sauvage. La résilience de l'espèce est cette capacité des races à retourner vers leur état initial. Nous avons évoqué la drosophile qui n'est pas classée comme domestique mais qui est soumise aux exercices de sélection les plus extraordinaires depuis un siècle : les divergences évolutives amorcées en laboratoire ne se sont pas maintenues, toutes les lignées qui ne sont pas éteintes sont redevenues normales, en particulier aucun isolement sexuel durable n'a réussi. Il faut l'avouer, le modèle de la sélection graduelle d'une race ou d'une lignée en vue de produire une espèce nouvelle donne de la spéciation une image insuffisante, partout la résilience l'emporte.

3.1.2. La sérendipité des races domestiques

La domestication fait un usage intelligent d'aptitudes animales ou végétales qui à l'état naturel restaient sans emploi. L'homme qui mange un mouton n'innove pas car il y a longtemps que les loups et bien d'autres savent le faire, et un écologiste pourrait dire non sans cynisme que c'est sa fonction naturelle de maillon dans la chaîne alimentaire depuis les végétaux jusqu'aux carnivores. Le pasteur qui se borne à élever de la viande sur pied n'a donc pas une idée mirobolante. En revanche, tondre un mouton pour tricoter un pull-over ou traire une brebis pour fabriquer un fromage, c'est une idée radicalement neuve qui n'était pas présente dans le concept ou les aptitudes ou les fonctions naturelles du mouton. La laine ou le lait ne sont pas « faits » pour l'homme, mais l'homme a su en « faire » du tissu ou du fromage. On pourrait en dire autant du ver à soie ou du cheval de labour. De ce point de vue, la domestication n'est ni un simple hasard ni le résultat d'une évolution naturelle ; c'est la rencontre imprévue et heureuse de certaines espèces avec certains hommes compétents qui a ouvert une niche profitable pour tous puisque

les animaux domestiques sont désormais des milliards. Parce qu'il est câlin le chat de salon pullule mais le sauvage, tout aussi vigoureux mais très agressif, disparaît : la sérendipité des mémères à chats a joué en faveur du premier.

Pour évoluer, les espèces doivent trouver « quelque chose » de neuf pour le soumettre à la sélection. La domestication chère à Darwin offre donc un modèle intéressant, celui du génial zootechnicien, de l'agronome ingénieux ; cependant, il n'est pas facile de lui trouver un analogon naturel.

3.2. Le mimétisme passable

Si un papillon d'une espèce comestible ressemble à un autre d'une espèce amère que les oiseaux ont appris à ne pas manger, il est à son tour protégé : c'est le mimétisme batésien. Pour réussir dans la vie, le mime doit surveiller son patron coloré, sa mise et sa conduite, ressembler le mieux possible au modèle, y compris s'il existe des variants géographiques, naître quelques jours ou semaines après lui pour laisser aux oiseaux naïfs le temps d'apprendre, visiter les mêmes sites aux mêmes heures, etc. On admet comme allant de soi que la sélection améliore et conserve toutes ces adaptations, punit les écarts, et perpétue le patron coloré le mieux protégé. Le mélanisme industriel est d'ailleurs la tarte à la crème des vulgarisateurs de la sélection naturelle.

Il y a cependant une difficulté à laquelle on ne prête guère attention : quelle est l'origine initiale du rapport de protection ? Comment peuvent apparaître à la fois toutes ces adaptations, puisqu'elles ont des bases génétiques indépendantes ? On comprend que la sélection rende plus exacte une ressemblance qui était jusque là imparfaite, mais avant, quand aucune ressemblance n'existe, on ne comprend pas comment tel papillon devient le mime de tel autre avec lequel n'existe *a priori* aucune relation. C'est bien un hasard heureux qui instaure cette relation nouvelle sans rapport de causalité — comme le sosie d'une célébrité n'a pas choisi son modèle. C'est la raison pour laquelle il faut distinguer deux étapes : l'origine du mimétisme et son perfectionnement ([Ganberale-Stille et al., 2011](#)) :

- une mutation du patron d'un papillon lui fait par hasard ressembler de façon approximative à un autre qui justement est protégé ; c'est le mimétisme passable qui impose seulement que la mutation porte sur un trait précis par lequel les oiseaux reconnaissent l'espèce amère ; d'ailleurs le polymorphisme partagé montre que de telles mutations ne sont pas si rares ([Bocquet, 1953](#) ; [Klein et al., 1998](#)) ;
- ensuite, d'autres mutations surviennent ou sont recrutées et sélectionnées, selon un processus qui améliore le taux de protection. La première étape du mimétisme passable dans laquelle un hasard non adaptatif devient une trouvaille, est sérendipiteuse, puisqu'elle récompense l'inventeur comme s'il avait une forme d'intelligence, tandis que la seconde qui ajuste et corrige est adaptative et résiliente, puisqu'elle punit le négligent.

3.3. Les insectes phytophages spécialisés

Deux insectes s'accouplent, la femelle dépose ses œufs, les larves mangent tant qu'elles peuvent, les adultes se recherchent et s'accouplent, eux aussi tant qu'ils peuvent. Les trois étapes du cycle font appel à des fonctions bien distinctes : manger, s'accoupler et pondre, et étroitement précises : la chenille d'un spécialiste ne consomme qu'une seule plante, les signaux de reconnaissance des conjoints sont très discriminants, et l'oviposition est minutieuse (choix du site, tarière adaptée, etc.). Or ces fonctions qui sont génétiquement indépendantes sont sélectivement très coordonnées. La femelle pond sur la plante qui servira d'aliment aux larves, les larves se métamorphosent au site où les adultes se rencontrent, et les conjoints s'accouplent là où la femelle ira pondre. Tout écart est puni. La femelle qui pond sur une plante non comestible, ou les larves qui se métamorphosent loin du site d'accouplement, ou l'accouplement loin du site de ponte, sont peu productifs – sauf si un miraculeux changement de cycle survient. La mouche *Rhagoletis* (Feder, 1998), qui vivait en Amérique sur l'aubépine *Crataegus*, a découvert en 1864 les pommiers importés d'Europe, auxquels elle n'était évidemment pas adaptée, mais comme les pommes sont abondantes et nourrissantes elle a réussi son coup – comme Christophe Colomb a découvert l'Amérique alors qu'il cherchait la Chine. Cela s'appelle un glissement d'hôte où nous retrouvons les deux étapes : hasard heureux + sélection adaptative. Comment les trois relations de fidélité à l'hôte, site d'appariement, de ponte et d'alimentation larvaire, ont-elles évolué ? On constate que la ségrégation des races d'hôte semble surtout soumise aux conditions d'existence, aux habitudes acquises, au sens lamarckien du mot, par exemple les mâles tendent à se rassembler sur les fruits de l'hôte où ils sont nés, et les femelles isolées dès leur naissance préfèrent pondre aussi sur le fruit dont elles proviennent. Les essais de capture et relâchement sur des hôtes croisés ne montrent aucun obstacle éthologique à l'accouplement ou à l'oviposition. Les larves des deux formes prolifèrent mieux sur l'aubépine, l'hôte ancestral, et moins bien sur le pommier. Un isolement reproductif partiel dû à leur adaptation à l'hôte est apparu, car la race du pommier entre en pupaison 16 jours et écloit 10 jours plus tôt que celle de l'aubépine dont le fruit est plus tardif ; ainsi, l'hybridation entre eux est donc restreinte ; de plus, l'ovipositeur n'a pas la même longueur. Ce décalage adaptatif des races en deux profils de ponte aurait donc une base génétique, mais les distances génétiques entre ces races sont faibles et les hybrides prospèrent en élevage, sans défaut de développement ou de fécondité. Une centaine de générations c'est peu pour une spéciation, mais dans un tel modèle, une évolution génétique profonde n'est pas nécessaire, car la résidence sur un même site – ils habitent le même appartement et avec leurs enfants – constitue une adaptation durable et transmissible presque au sens lamarckien, pour une fois légitime. En résumé, trois fonctions (manger, s'accoupler, pondre) sans doute génétiquement indépendantes doivent changer simultanément si l'hôte change. On comprend que, sur un exemple d'adaptation qui peut sembler trivial, les chercheurs utilisent le mot « magique »

comme devant une énigme indéchiffrable (Servedio et al., 2011).

3.4. Polyploïdes

Selon une définition de la sérendipité légèrement différente de la précédente, le résultat est attendu et même vivement « souhaité », mais les moyens manquent ou sont inaccessibles ou improbables : une solution miraculeuse résout la difficulté comme par magie cette fois encore.

Des plantes **tétraploïdes** apparaissent accidentellement au sein des populations diploïdes – par exemple les Oenothères sur lesquelles de Vries (1901–1903) a fondé sa théorie des mutations. Ces variants sont grands, robustes, se développent bien et sont féconds entre eux, mais comme ils sont rares et dispersés au milieu des diploïdes parentaux voisins, leur fécondation s'opère massivement avec les diploïdes. Or les produits di- par tétraploïdes sont triploïdes et toujours stériles, il en résulte que les tétraploïdes s'éteignent sans laisser de descendance féconde et leur essai évolutif échoue. On peut classer comme une forme de résilience cette épreuve de la méiose qui rejette les triploïdes et donc maintient la forme diploïde. Pour faire souche il faudrait que les tétraploïdes se fécondent entre eux, mais comment deux tétraploïdes nés par hasard chacun dans son coin, peuvent-ils se reconnaître et se choisir parmi la masse des diploïdes, comment porter précisément le pollen d'une rare fleur tétraploïde sur une autre aussi rare ? Cette fois encore le hasard intelligent va jouer en leur faveur. Les fleurs tétraploïdes sont plus grandes et puisque les insectes pollinisateurs visitent plutôt les fleurs à leur taille certains vont préférer les tétraploïdes et réaliser une fécondation sélective de ces fleurs entre elles, justement ce qu'on souhaitait ! D'emblée un isolement sexuel se met en place et la reproduction ordonnée des rares tétraploïdes est assurée. Chez *Chamerion angustifolium* (*Onagraceae*), en moyenne 73 % des vols de pollinisateurs se produisent entre fleurs du même degré de ploïdie (Kennedy et al., 2006). Le double isolement prézygotique par les insectes et postzygotique par la stérilité des hybrides triploïdes est réalisé instantanément en une même étape sans aucun processus évolutif ou sélectif. C'est bien une sérendipité heureuse et imprévue qui utilise ces insectes dès qu'on a besoin d'eux. Notons que la survenue des pollinisateurs ne se fait pas attendre : la polyploïdie détermine la taille des fleurs, qui à son tour guide la taille des pollinisateurs, en général très communs. La fécondation choisie qui semblait un défi, est résolue de manière simple, immédiate et disons même, élégante. On peut dire que les tétraploïdes font un usage « intelligent » du hasard.

4. Le modèle général de la spéciation

La naissance d'une espèce est un heureux événement. À chaque instant de la vie d'une espèce, des variations surviennent et perturbent les relations, deux stratégies alternatives s'affrontent alors : soit stabilité des relations, la résilience agit en rappel, soit relations nouvelles, la sérendipité invente un nouveau standard.

La résilience est la fonction de maintien des relations propres et habituelles à une espèce, de résistance aux

changements, de retour en arrière et de réversibilité ou d'effacement des écarts. Les colonies de migrants s'éteignent ou fusionnent, les adaptations locales et temporaires s'annulent, les anomalies reproductives sont stériles, les écarts extrêmes sont résorbés et les relations ancestrales l'emportent. C'est pourquoi la spéciation est si rare. La perte des relations est une privation qui par elle-même ne produit rien, qui élimine sans créer, qui ne propose aucune nouveauté et donc n'est jamais en soi la cause de l'apparition d'une espèce nouvelle. Les modèles de spéciation fondés sur le partage, l'isolement géographique, ou pire encore, sur une mythique barrière sexuelle, sont insuffisants.

La perte des relations habituelles, la perte de résilience, a cependant une conséquence : elle est une mise en condition qui permet des relations nouvelles. C'est alors que la **sérendipité** prend tout son sens, c'est alors qu'un hasard peut survenir et instaurer de nouveaux rapports écologiques, sexuels, etc, c'est-à-dire la naissance d'une nouvelle espèce.

Un des mythes de l'évolution qu'il serait trop long de développer (Lherminier, 2009), est de faire de la spéciation une aptitude comme marcher ou respirer, de sorte qu'il existerait des fonctions, programmes, organes, transposons, gènes, chromosomes, etc., au rôle positif et décisif dans la production d'espèces nouvelles. Dès 1901, de Vries définit la mutation comme un changement d'espèce ; puis, en 1910/1911, la spéciation devient, et pour longtemps, un changement du nombre des chromosomes, qui connaît un immense engouement ; dans les années 1970, l'hétérochromatine dont l'abondance s'affiche insolemment, est soupçonnée d'un rôle essentiel dans l'isolement des espèces. C'est presque une manie de naturalistes : toute nouveauté en demande d'emploi est recrutée comme bénévole pour assurer des permanences à l'entrée de l'espèce (Lherminier et Solignac, 2005 : 7-6-1). Sans doute de tels événements adaptatifs ou fortuits surviennent lors des spéciations ou après, mais ils sont accidentels – un changement banal de caryotype comme il s'en produit des millions a généralement peu d'effet sur la fécondité et rarement sur la spéciation. L'erreur de fond des modèles qui cherchent une cause à la spéciation, est de croire à un processus positif, prévisible et répétitif, qui serait réalisé par un organe ou une fonction, et par conséquent serait réductible à une loi d'apparition. Au contraire, la spéciation n'est pas un effet mais une privation : perte de ressemblance, perte du monophylétisme (partage en lignées), perte de fécondité. Ces pertes ne résultent ni d'une fonction ni d'un mode sélectif produisant un partage des lignées ou une stérilité, et ceux-ci par eux-mêmes ne produisent rien de nouveau. Chaque spéciation est donc un événement aléatoire unique, imprévisible. D'une espèce à une autre, les nombreuses et subtiles modifications qui affectent l'ensemble des relations ne se répètent jamais. Les pertes de relations qui font passer de l'espèce A à l'espèce B n'ont rien à voir avec celles qui font passer de B à C.

5. Y-a-t-il une loi de l'évolution ?

C'est sans doute la question la plus physique, expliquant d'un coup l'ensemble du monde vivant, et la plus

métaphysique, l'origine et la place de l'homme sur Terre et peut-être ailleurs. Et bien la réponse est non. Si l'on pouvait à la rigueur parler de loi, ce serait la stabilité des espèces, la résilience d'un système fermé – depuis cent millions de générations pour la drosophile. Mais il n'y a aucune loi d'apparition ou d'extinction des espèces, car l'évolution est l'ouverture aux circonstances externes, la meilleure façon d'utiliser le hasard.

Le mot évolution a lui-même évolué, en particulier il s'est déplacé de l'ontogenèse à la phylogenèse. Chez Cicéron, *evolvere* c'est dérouler un parchemin, Saint-Augustin (*De Genesi ad litteram*) appelle évolution le processus de croissance de ce qui est déjà formé. Le mot s'applique au développement de l'embryon (Descartes, *Formation de l'animal*, Œuvres Complètes 11 : 277) : « si on connaissait bien quelles sont toutes les parties de la semence de quelque espèce animale en particulier, par exemple de l'homme, on pourrait déduire de cela seul, par des raisons certaines et mathématiques, toute la figure et conformation de chacun de ses membres ». Et Bonnet (*Consid. corps org.*) « tant de faits divers que j'ai rassemblés dans cet ouvrage en faveur de l'évolution, prouvent assez que les corps organisés ne sont point proprement engendrés, mais qu'ils préexistaient originellement en petit ». Delage (1903 : 176) utilise encore ce sens.

Dans un second sens le déroulement passe les générations. Saint-Augustin l'évoque (*De la Trinité* III-8) : « certains germes sont visibles à nos yeux : les germes que produisent les végétaux et les animaux... d'autres germes sont au contraire invisibles, les germes de ces germes-là ». Puis Malebranche (*Recherche de la Vérité* I, 6) donne le premier exposé méthodique de ce qu'on appellerait de nos jours la lignée monophylétique : « Il ne paraît pas déraisonnable de penser qu'il y a des infinis dans un seul germe, puisqu'il ne contient pas seulement l'arbre dont il est la semence, mais aussi un très grand nombre de semences qui peuvent toutes renfermer, dans elles-mêmes, de nouveaux arbres et de nouvelles semences d'arbres, lesquelles conservent, dans une petitesse incompréhensible, d'autres arbres et d'autres semences aussi fécondes que les premières et ainsi de suite. » Toute l'espèce est contenue dans l'Adam de chacune d'elles.

Enfin Lamarck a généralisé le raisonnement à la suite des espèces, chacune grosse de la suivante, toujours selon un déroulement quasi mécanique – on le surnomme parfois l'escalier roulant. Darwin dans la dernière édition seulement de *L'origine des espèces* utilise « évolution des espèces » dans son sens actuel. Avant lui, la traductrice de la première édition, Clémence Royer, dès la page IX de sa préface, en fait usage au sens moderne : « du principe de la formation des êtres vivants par les causes secondes se déduit, avec l'idée de leur **évolution** ascendante et progressive, etc. ».

L'idée importante et moderne est que la nouvelle espèce apporte une innovation qui n'est jamais contenue dans la précédente – au contraire du sens initial préformateur. Développement, lignée spécifique et spéciation sont bien des mécaniques d'accroissement, mais ces trois sens sont par malheur confondus dans le mot « évolution ». Aussi la fameuse loi de récapitulation et la moderne

évo-dévo jouent-elles un jeu dangereux sur une analogie entre évolution de l'individu et évolution des espèces. L'embryogenèse canalisée et la phylogenèse ouverte sont en effet deux causalités irréductibles l'une à l'autre, puisque le développement embryonnaire est la répétition indéfinie et canalisée d'un module en lutte permanente contre le hasard, tandis que la seconde est l'utilisation ouverte et non répétable du hasard. Conséquence, l'évolution au sens moderne est une histoire, et si la vie reparait sur la Terre ou ailleurs, elle produirait un autre monde.

Ce qui manque aux modèles déterministes, c'est l'innovation radicale, le fait que d'une manière rare, imprévue et heureuse — une *happenstance* — de nouvelles relations adaptatives et reproductives s'instaurent non pas en continuité mais en rupture avec les précédentes. La sérendipité pointe l'apparition imprévisible et quasi mystérieuse d'un nouveau périmètre de fonctions, d'un nouveau profil de résilience. La nouveauté d'une mutation est parfois insignifiante, elle a pu survenir maintes fois sans être retenue, jusqu'au jour où des circonstances vont l'exploiter, la réemployer dans un usage immédiatement inédit. La modification qui donne leur forme tellement singulière aux phasmes serait probablement nuisible pour des milliers d'espèces, mais devient une adaptation chez ceux qui savent se positionner sur des brindilles.

Ayant montré comment l'espèce actionne à la fois la stabilité et l'évolution du monde vivant, terminons par le contre-exemple des **procaryotes** qui depuis trois milliards d'années n'ont jamais connu d'augmentation de complexité, et chez lesquels l'espèce est notoirement équivoque. La simplicité de l'organisme évite les contraintes de canalisation du développement, ce qui permet le libre accueil de gènes, d'éléments transposables, ou de blocs (opérons, intégrons). De plus, la parasexualité des bactéries fonctionne comme une sexualité élargie : la transformation est la capture d'un ADN libre de l'eau ou du sol, la transduction est le transit en virus-stop d'un segment d'ADN d'origine quelconque, et la conjugaison est une sorte de fécondation entre des partenaires de souches parfois très éloignées ; par exemple *Salmonella* et *E. coli* séparés depuis 150 Ma (Ochman et Wilson, 1987) conjuguent très facilement. Ces échanges libres et diffus produisent un réseau large et complexe mal délimité, doué d'une variabilité démesurée, et qui nous semble désordonnée (Bapteste, 2013). La sérendipité exploite la circulation presque illimitée des modules d'une souche à une autre, tels par exemple ceux qui contrôlent la fixation d'azote, la photosynthèse, les vésicules de gaz, qui peuvent s'incorporer aux génomes d'espèces les plus inattendues et permettre des changements écologiques opportunistes. En revanche, les procaryotes n'ont pas stabilisé leur dynamique sous la forme de génomes régulièrement intégrés : pas de relations sexuelles délimitées, pas de lignée pure et durable, pas de structure agissant en rappel, pas de résilience donc pas d'espèce, pas d'espèce donc pas de spéciation, pas de spéciation donc pas ou peu d'évolution. Conclusion qu'on peut juger exagérée, mais ceux qui déclarent un colibacille aussi évolué qu'un chat exagèrent aussi.

S'en remettre au hasard brut pour comprendre l'ordre de la nature est une attitude fière et commode, qui remonte

à l'antiquité lointaine mais qui laisse sur sa faim. Quel matérialiste pur et dur ne s'est jamais exclamé au spectacle d'un organe ou d'une fonction étonnante : c'est pas bête ! Il faut que le hasard soit intelligent si le biologiste désinhibé veut battre le dessein intelligent sur son terrain. Mais comment faire quand on sait que l'intelligence n'est ni dans la nature ni au-dessus ? Elle est pourtant quelque part, mais où, sinon dans la pensée du naturaliste ? C'est toujours et seulement son intelligence qui juge comment et pourquoi tels faits retiennent l'attention. Résilience et sérendipité ne sont pas des fonctions, il ne leur correspond aucun organe, et il n'y a pire tromperie que d'en faire des forces agissantes et constitutives. Plus que des métaphores, ce sont des idées régulatrices qui facilitent unifient et mettent en ordre les jugements du naturaliste.

References

- Bapteste, E., 2013. *Les gènes voyageurs*. Belin, Paris.
- Bocquet, C., 1953. Recherches sur le polymorphisme naturel des *Jaera marina* (Fabr.) (Isopodes Asellotes). Essai de systématique évolutive. *Arch. Zool. Exp. Gen* 90, 187–450.
- Boyd, R., 2010. Homeostasis, higher taxa, and monophyly. *Philos. Sci.* 77, 686–701.
- Cuénot, L., 1911. *La genèse des espèces animales*. Félix Alcan, Paris (2^e éd. 1921).
- Cuénot, L., 1914. Théorie de la préadaptation. *Scientia*, Bologne, pp. 59–73.
- Darwin, C., 1859a. *On the Origin of Species*. John Murray, London.
- Darwin, C., 1859b. *De l'origine des espèces*. Flammarion, Paris (3^e éd. 1861, trad., introduction et notes, C. Royer 1862, rééd. 1918).
- Darwin, C., 1870. *La fécondation des orchidées*. Sens, Paris (trad. 1870, rééd. 1999).
- Darwin, C., 1985. *The Correspondence of Charles Darwin*. Cambridge Univ. Press (éd. 1985 ss).
- Delage, Y., 1903. *L'hérédité et les grands problèmes de la biologie générale*. Reinwald, Paris.
- Dobzhansky, T., 1937. *Genetics and the Origin of Species*. Columbia University Press, New York (3rd edit. 1951).
- Eldredge, N., Gould, S.J., 1972. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In: Schopf, T.J.M. (Ed.), *Models in Paleobiology*. Freeman Cooper, San Francisco, pp. 82–115.
- Feder, J.L., 1998. The apple maggot fly, *Rhagoletis pomonella*. In: Howard, D.J., Berlocher, S.H. (Eds.), *Endless Forms*. Oxford Univ. Press, New York, pp. 130–144.
- Ganberale-Stille, G., Balogh, A., Tullberg, B., Leimar, O., 2011. Feature saltation and the evolution of mimicry. *Evolution* 66 (3), 807–817.
- Gould, S.J., Vrba, E., 1982. Exaptation - a missing term in the science of form. *Paleobiology* 8, 4–15.
- International code of zoological nomenclature, 1999. *The international trust for zoological nomenclature, fourth ed.* The Natural History Museum, London.
- Kennedy, B.F., Sabara, H.A., Haydon, D., Husband, B.C., 2006. Pollinator-mediated assortative mating in mixed ploidy populations of *Chamerion angustifolium* (Onagraceae). *Oecologia* 150, 398–408.
- Klein, J., Sato, A., Nagl, S., O'huigin, C., 1998. Molecular trans-species polymorphism. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29, 1–21.
- Lamarck, J.-B., 1778–1779. *Flore Française*. Imprimerie Royale, Paris.
- Lherminier, P., 2009. *Le mythe de l'espèce*. Paris, Ellipse.
- Lherminier, P., Solignac, M., 2005. *De l'espèce*. Paris, Syllepse.
- Mahé, J., Devillers, C., 1983. La chrono-espèce, conception chronodynamique de l'espèce conséquence d'une stratégie de rupture au niveau de la spéciation. In: Chaline, J. (Ed.), *Modalités rythmes mécanismes de l'évolution biologique*. Colloques internationaux du CNRS n° 330, Paris, pp. 175–180.
- Nichols, R., 2001. Gene trees and species trees are not the same. *Trends Ecol. Evol.* 16, 358–364.
- Ochman, H., Wilson, A.C., 1987. Evolutionary history of enteric bacteria. In: Neidhardt, F.C., Ingraham J.L., Low K.B., Magasanik B., Schaechter M., Umberger H.E. (Eds.), *Escherichia coli and Salmonella typhimurium*. *Cell. Mol. Biol.*, 1649–1654.
- Pierce, C.S., 1984. *Textes anticartésiens*. Aubier, Paris.
- Rieppel, O., 2010. New essentialism in biology. *Philos. Sci.* 77, 662–673.

- Servedio, M.R., Van Doorn, S., Kopp, M., Frame, A.M., Nosil, P., 2011. Magic traits in speciation: 'magic' but not rare? *Trends Ecol. Evol.* 26-8, 389–397.
- Tamura, K., Subramanian, S., Kumar, S., 2004. Temporal patterns of fruit fly (*Drosophila*) evolution revealed by mutation clocks. *Mol. Biol. Evol.* 21, 36–44.
- Turner, A.H., Makovicky, P.J., Norell, M.A., 2007. Feather quill knobs in the dinosaur *Velociraptor*. *Science* 317, 1721.
- Vavilov, N.I., 1922. The law of homologous series in variation. *J. Genet.* 12, 47–89.
- de Vries, H., 1901-1903. *The Mutation Theory*. Open Court, Chicago (English translation, 1910).