

#### Le jeu de l'évolution

Auteurs	: Travail collectif(plus d'infos)
Résumé	: La sélection artificielle montre que le tri des variants au cours des générations permet, à partir d'un même pool ancestral, d'obtenir des variétés très différenciées les unes des autres. Nous allons donc maintenant essayer de mieux comprendre ces processus de tri et de montrer comment ils peuvent être à l'origine de la diversité des espèces que l'on observe dans la nature.
Publication	: 21 Mars 2014

Nous avons maintenant les éléments minimaux pour comprendre les mécanismes de l'évolution :

- les organismes peuvent se reproduire ;
- ils transmettent à leurs descendants des caractères ;
- ces caractères qui se transmettent par la reproduction sont sujets à des variations que l'on appelle « mutations ».

La sélection artificielle montre que le tri des variants au cours des générations permet, à partir d'un même pool ancestral, d'obtenir des variétés très différenciées les unes des autres. Nous allons donc maintenant essayer de mieux comprendre ces processus de tri et de montrer comment ils peuvent être à l'origine de la diversité des espèces que l'on observe dans la nature.

Pour cela, nous utiliserons un petit jeu, qui nécessite simplement un lot de perles de couleurs et de formes différentes ainsi qu'un dé. Prenons donc des perles de couleurs variées : certaines sont rondes, d'autres cubiques ; certaines sont lisses, d'autres crénelées. Chaque perle symbolise un organisme. Le système de reproduction choisi pour ces organismes imaginaires est le plus simple que l'on connaisse chez les organismes réels : la reproduction conforme. Dans ce système, un parent donne naissance à un descendant qui lui est identique, sauf si une mutation se produit. Ce type de reproduction se trouve par exemple chez les bactéries mais également chez certaines plantes capables de reproduction dite « végétative » (par exemple par bouturage). Chaque individu n'a donc dans ce système qu'un seul parent. Au début du jeu, nous partons d'une population de six individus que l'on distinguera par une couleur différente. Tout au long du jeu, les descendants de chacun de ces six individus garderont la couleur de leur parent. Nous considérerons, dans un second jeu, la forme (ronde ou cubique) et l'ornementation (lisse ou crénelée) comme deux caractères pouvant varier par mutation.

### Premier jeu : les hasards de la reproduction

Pour notre premier jeu, chaque joueur choisit une couleur et suit la descendance d'un individu. Ces six individus fondateurs sont par ailleurs identiques (par exemple, des perles rondes et lisses). On peut considérer qu'ils sont les six descendants d'un même parent qui leur a donné comme noms : Rouge, Rose, Bleu, Vert, Orange et Jaune. Les descendants de ces six individus conserveront ces mêmes noms qui, à l'instar de noms de famille, nous permettront de suivre leur généalogie.

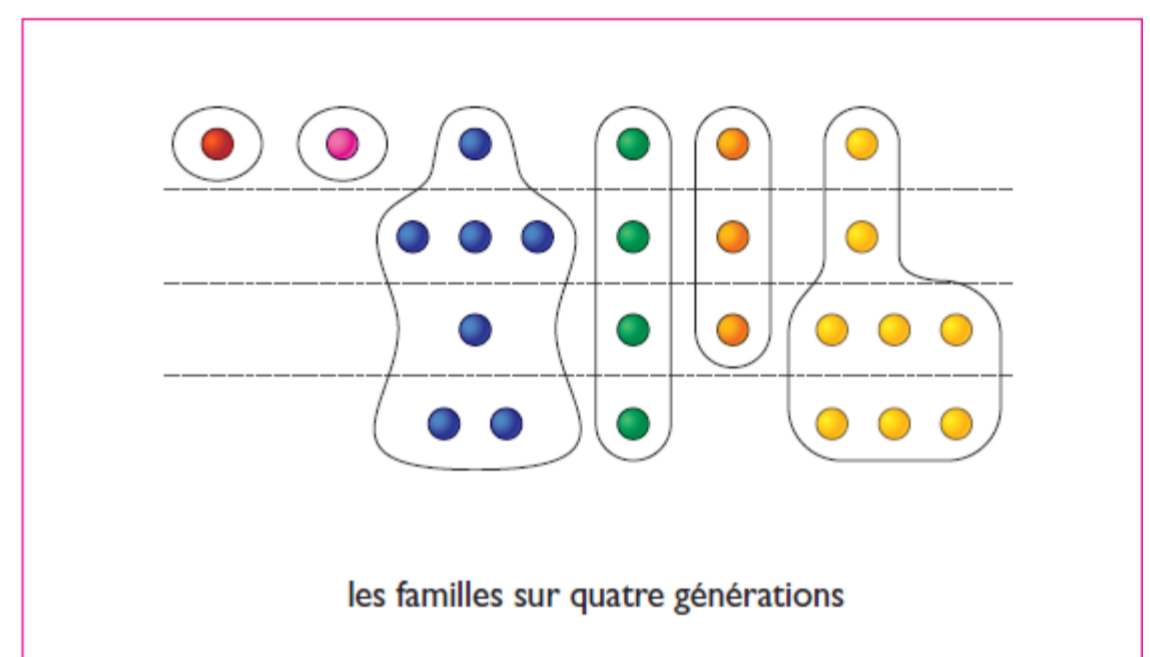
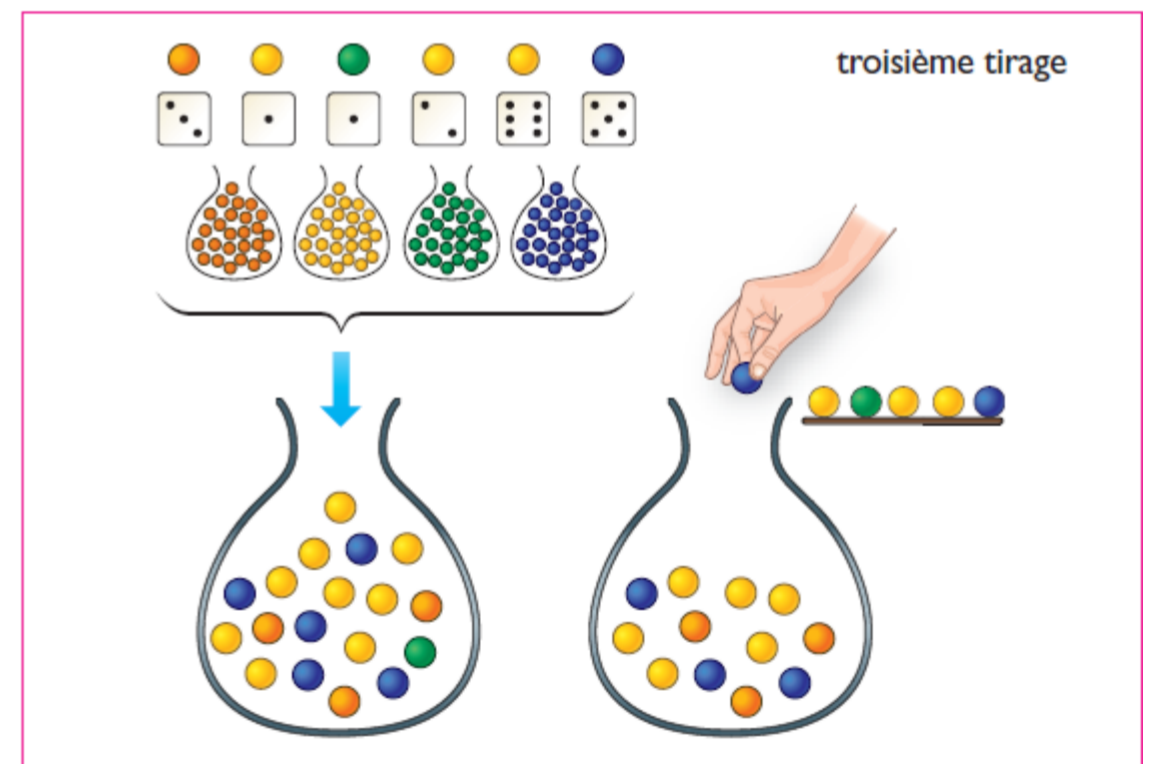
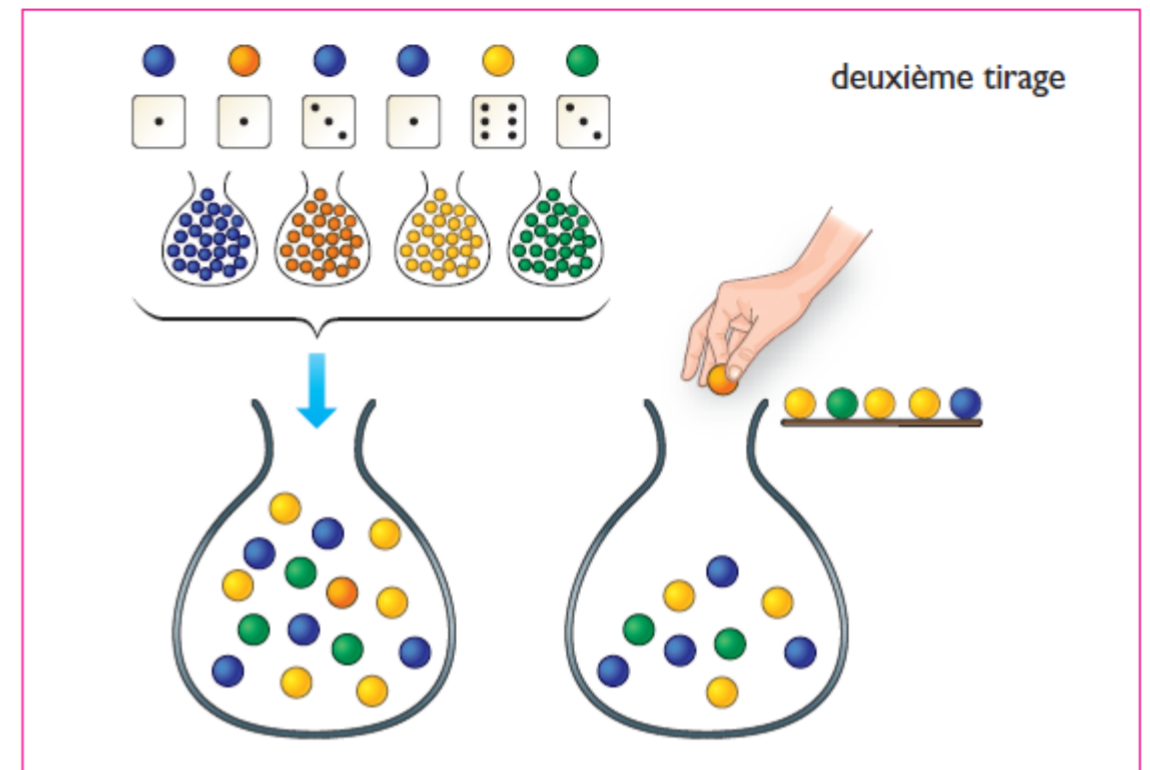
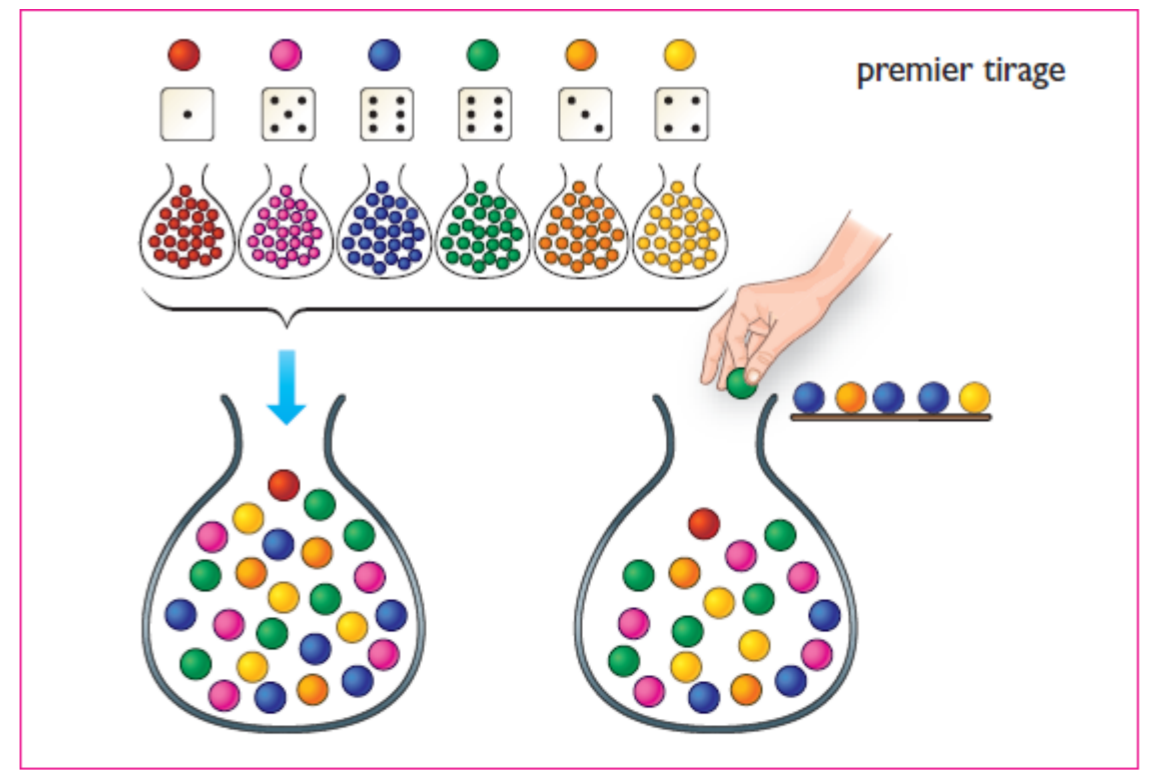
À chaque génération, chaque joueur tire au dé le nombre d'individus à qui il donne naissance. Quelle est la justification de ce tirage ? Si l'on prend dans la population humaine des individus ayant une fécondité identique, ce qui fait qu'ils auront pas, peu ou beaucoup d'enfants est dû à des facteurs fortuits tels que l'âge auquel ils rencontreront l'âme soeur, leur profession, etc. Par exemple, un individu qui fait des études supérieures et qui rentre tardivement dans la vie active aura tendance à s'installer tardivement et aura peut-être moins d'enfants que quelqu'un qui commencera à travailler à vingt ans. De même, un individu qui deviendra prêtre ou qui sera soldat au moment d'une guerre aura probablement moins d'enfants que d'autres qui n'auront pas eu ce parcours. Pour chaque individu, une analyse détaillée pourrait effectivement permettre de déterminer quelles sont les causes qui déterminent in fine le nombre de ses descendants mais cette prédiction ne peut être donnée a priori pour un individu pris au hasard.

Pour prédire malgré tout ce nombre, nous devons utiliser une modélisation. Cette modélisation va être fondée sur des observations : on compte par exemple le nombre d'individus qui ont 1, 2, 3, ..., n descendants. On utilise ensuite ces observations pour proposer une loi de probabilité. Quand on utilise un tirage d'un dé à six faces, cela revient à dire qu'il y a autant d'individus qui auront un, deux, trois, quatre, cinq ou six descendants. Ce qui fait qu'un individu donné a plutôt un que six descendants est dû à des causes fortuites que l'on « modélise » ici par un tirage de dé. De fait, que le dé tombe sur une face plutôt que sur une autre est également dû à des causes fortuites : la façon dont on le tient dans sa main, les frottements qu'il subit en roulant sur la table, etc., expliquent pourquoi il est tombé sur une face plutôt que sur une autre. Cependant, quand on tient ce dé dans la main, on ne peut pas dire autre chose que : « Le dé a autant de chances de tomber sur chaque face. »

Revenons à notre population de six individus symbolisés par des couleurs différentes mais qui sont par ailleurs identiques. Si chaque joueur tire le 1, il y aura exactement six individus qui pourront fonder la génération suivante, mais si chaque joueur tire le 6, il y aura  $6 \times 6 = 36$  descendants candidats pour fonder la génération de parents suivante.

Dans notre jeu, nous limiterons la taille de la population à six. Cette limitation n'est pas en soi nécessaire, mais rend le jeu plus facile à réaliser. D'autre part, elle correspond à une certaine réalité biologique que Darwin a appelée la « limitation des ressources ». Si je prends une île tropicale d'une surface donnée et que j'y sème un grand nombre de graines de baobab, le nombre d'arbres adultes que pourra accueillir cette île sera limité par sa surface. De même, le nombre d'herbivores qui pourront vivre sur cette île dépendra de la quantité de végétaux pouvant y pousser. Si je prends des graines strictement identiques, celles qui seront tombées dans un coin humide et chaud germeront plus vite que d'autres tombées dans un coin plus aride. Celles qui pousseront les premières occuperont donc le terrain et empêcheront les graines tombées dans un endroit moins favorable de pousser. En d'autres termes, mes graines étant « identiques », le fait que l'une plutôt que l'autre pousse sur mon île ne peut être prédit a priori. Dans notre jeu, nous simulons ce phénomène en déposant dans une urne les descendants produits par chaque individu. De cette urne, six perles seront extraites « en aveugle », donc au hasard, pour fonder la nouvelle génération de descendants. L'ascendance de chacune des perles tirées dans l'urne pour fonder la nouvelle génération sera connue grâce à la couleur de la perle puisqu'elle fait office de nom de famille.

Voici un exemple de réalisation du jeu. Au premier tirage, les six joueurs lancent leur dé et mettent le nombre correspondant de perles de leur couleur dans l'urne. Dans le cas figuré, vingt-quatre perles sont ainsi déposées dans l'urne. Comme la population ne permet la survie que de six descendants, nous tirons six perles parmi les vingt-quatre pour constituer la seconde génération. Dans l'exemple figuré, il n'y a plus que quatre couleurs présentes, les joueurs Rose et Rouge ont été éliminés. Les joueurs Vert, Orange et Jaune ont chacun un descendant alors que le joueur Bleu en a trois. Que se passe-t-il à la seconde génération ? Pour chacun de ces individus, il faut faire un tirage. Les joueurs Vert, Orange et Jaune jouent une fois, alors que le joueur Bleu, qui a trois représentants, doit tirer trois fois le dé. Dans notre exemple, quinze perles sont déposées dans l'urne. La troisième génération est obtenue par tirage de six perles parmi ces quinze. On peut figurer les relations généalogiques entre les individus en les réunissant dans des « familles » grâce à leur couleur. Et le jeu continue ainsi. Inévitablement, par le simple fait du tirage des descendants dans l'urne, les joueurs vont être éliminés tour à tour. Le jeu sera fini quand les six places de la population seront de la même couleur. On peut répéter ce même jeu à plusieurs tables de six joueurs. Chaque table va obtenir une suite de tirages différents et, au bout d'un nombre différent de générations, une couleur va l'emporter. À chaque partie, nous pouvons enregistrer le résultat final en notant la couleur gagnante. Par exemple, sur vingt parties, on pourrait avoir les résultats suivants : Bleu ? 3, Vert ? 1, Orange ? 0, Jaune ? 6, Rose ? 7, Rouge ? 3. Plus le nombre de tirages sera grand, plus on obtiendra des valeurs proches pour chaque couleur. Par ailleurs, on pourrait aussi noter le nombre de générations au bout duquel la partie est finie, c'est-à-dire au bout duquel il ne reste plus qu'une seule couleur. On pourrait constater que ce nombre varie beaucoup. En jouant un grand nombre de parties, on constaterait qu'il faut en moyenne six générations.



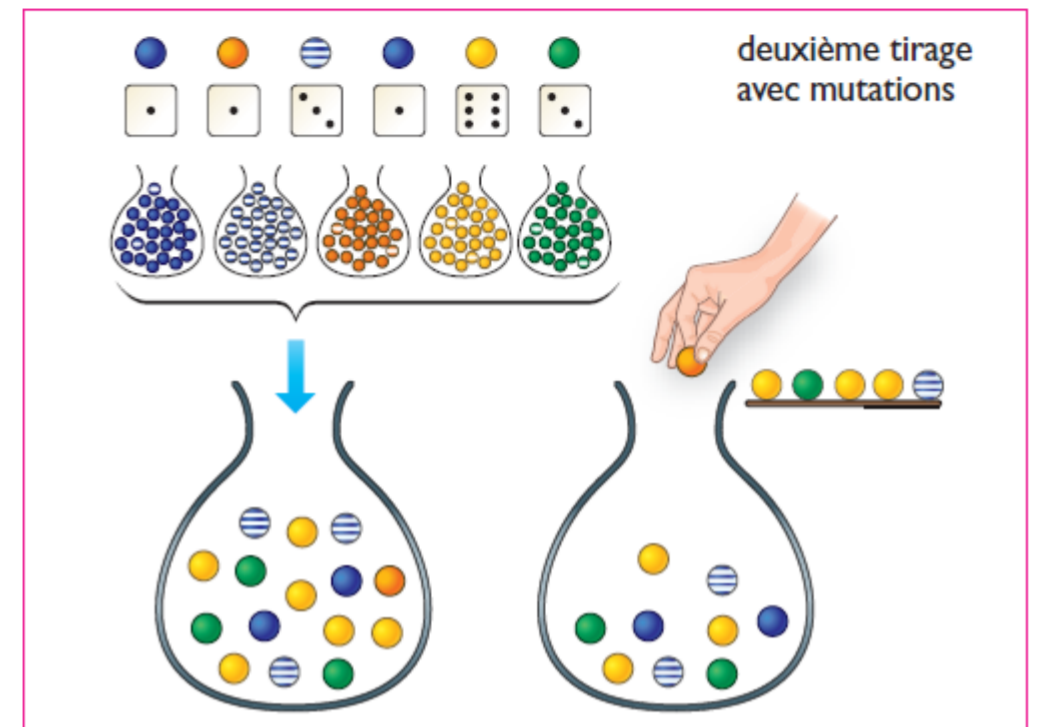
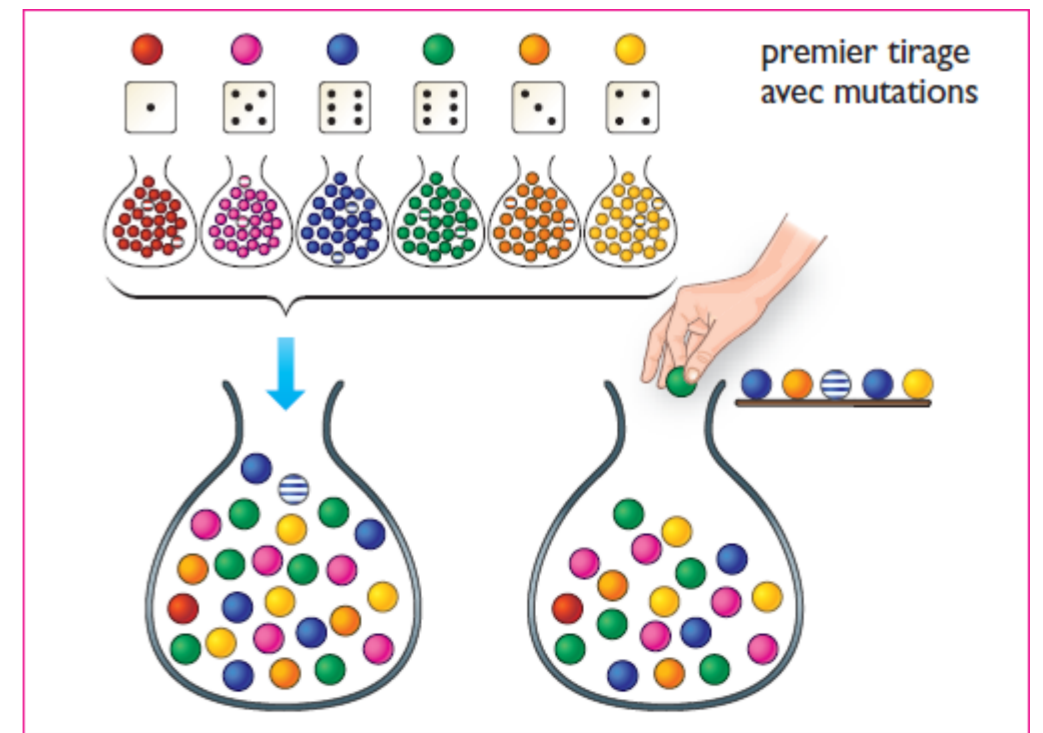
Nous pouvons tirer plusieurs conclusions de ce jeu. Tout d'abord, à chacune des tables, le processus de tri aboutit inéluctablement à une perte de la diversité initiale : à condition que l'on joue suffisamment longtemps, une seule couleur subsiste. Les couleurs représentant des lignées généalogiques, la seconde conclusion est qu'au bout d'un nombre de générations égal en moyenne à la taille de la population, tous les individus présents appartiennent à la même famille. Reprenons maintenant les résultats sur un ensemble de tables de jeu qui jouent en même temps. Au départ toutes les tables ont la même diversité : elles ont chacune six couleurs, chacune portée par un seul individu. Donc, deux tables prises au hasard au début du jeu sont strictement identiques. À la fin du jeu (quand toutes les tables ont fixé une couleur), chaque table a fixé une des six couleurs. Parmi nos six couleurs, peut-être que certaines n'ont « gagné » à aucune table de jeu et ont donc disparu. Cependant, plus le nombre de tables de jeu est grand, plus la probabilité de conserver chaque couleur au moins à une table est grande. Quel que soit le nombre de tables que l'on compare, à la fin du jeu, si l'on prend au hasard les résultats de deux tables, il n'y a qu'une chance sur six de tomber sur la même couleur. Ce processus de tri qui, globalement, conduit à diminuer la diversité au sein d'une population, conduit également à une divergence entre les populations. Cet effet d'échantillonnage stochastique est appelé dérive génétique.

## Deuxième jeu : les mutations

## Addons

Dans le premier jeu, nous ne pouvons que différencier des populations en perdant des variants. Pour compléter notre compréhension des mécanismes de l'évolution, nous devons introduire le processus de création de variabilité entre les individus, c'est-à-dire la mutation. Nous allons donc ajouter à notre jeu la mutation, c'est-à-dire des variations fortuites transmissibles à la descendance.

De la même façon que pour la prédiction du nombre de descendants d'un individu, il n'est pas possible de prédire quel individu plutôt que tel autre verra un de ses caractères modifié sous l'effet de forces physiques comme les rayonnements. On utilise donc là encore une modélisation probabiliste. Pour comprendre le devenir des variations, nous pouvons proposer une nouvelle variante du jeu. Pour chaque joueur, nous prenons maintenant un sac rempli de perles lisses d'une même couleur ainsi que d'une faible proportion de perles crénelées pour modéliser le fait que les mutations sont rares. Ces perles crénelées sont nos « mutants ». Le jeu suit les mêmes règles que celles du précédent jeu. À partir du moment où une perle mutante est tirée, il va falloir tirer les descendants de cet individu dans un sac de perles crénelées. Il faut donc reprendre les règles du jeu précédent. Les joueurs non mutants lancent le dé pour déterminer le nombre de descendants à mettre dans l'urne. Ils les choisissent dans le sac qui contient des perles lisses et crénelées de leur couleur et les mettent dans l'urne. Le joueur mutant tire ses descendants dans un autre sac contenant uniquement des perles crénelées. Chaque joueur tire ensuite une perle dans l'urne pour constituer une nouvelle génération. Comme précédemment, l'un ou l'autre des variants peut être fixé par simple effet d'échantillonnage stochastique. Au bout du compte, par la multiplication des tirages, la forme crénelée finira par se fixer. Ici, les mutations sont symbolisées par une seule forme (crénelée). Chez les organismes réels, elles seront le plus souvent diverses. Le fait que la forme crénelée ne se fixe pas suite à son premier tirage montre que pour une mutation fixée, de nombreuses autres ont été perdues par ce jeu d'échantillonnage des descendants.



## Troisième jeu : des mutations qui trichent

Dans le deuxième jeu, les mutations apportent de la variabilité qui, par de simples effets d'échantillonnage stochastique, conduit à faire évoluer les caractères dans une lignée. Dans ce jeu, la mutation n'avait pas d'effet sur le nombre de descendants. Si l'on se remet dans le contexte de la sélection artificielle, un éleveur qui voudrait obtenir des perles crénelées chercherait un individu qui porte cette mutation et l'utiliserait comme unique parent de son élevage. Il piperait ainsi les tirages de notre jeu. Dans la nature, certains caractères vont également piper les dés. Les mutations peuvent par exemple toucher le taux de fécondité. Dans notre jeu, de telles mutations peuvent être modélisées de la façon suivante. Pour une mutation qui baisse le taux de fécondité, symbolisée par une perle cubique, le tirage du dé sera 1 quand on obtient la face 1, et 2 quand on obtient n'importe quelle autre face. Les perles cubiques ne pourront donc avoir au maximum que deux descendants. Pour une mutation qui augmente le taux de fécondité, symbolisée par les perles rondes et crénelées, le nombre de descendants à mettre dans l'urne sera tiré à l'aide d'un tirage à deux dés.

Reprenons la configuration du premier jeu, dans lequel chaque joueur était symbolisé par une couleur différente. Le joueur, après avoir lancé son dé, tire dans un sac des perles de sa couleur. Ce sac contient majoritairement des perles rondes et lisses et, en plus faible quantité, des perles rondes et crénelées d'une part et cubiques d'autre part. à la génération suivante, les mutants tirés comme reproducteurs verront le résultat de leur tirage de dé modifié selon les règles énoncées. Même si cette règle confère un avantage fort aux mutants crénelés, la répétition du jeu montrera que, non seulement ce mutant avantageux ne sera pas systématiquement fixé dans la population, mais que, parfois, le mutant le plus désavantageux sera fixé. Cet effet, qui peut sembler paradoxal, est lié au fait que l'avantage ou le handicap apporté par ces mutations n'est pas très fort. Certaines mutations (comme celles observées lors des catastrophes nucléaires) apportent un tel désavantage que les organismes qui les subissent sont éliminés sans qu'ils puissent se reproduire. D'autre part, l'avantage ou le désavantage conféré par une mutation peut dépendre du contexte. Par exemple, les bactéries résistantes aux antibiotiques sont avantagées dans un contexte où l'on utilise des antibiotiques. Sans antibiotiques, ces mêmes bactéries peuvent être désavantagées car elles utilisent une partie de leur énergie à produire cette résistance plutôt que, par exemple, à se reproduire. Chez l'homme, on peut citer l'exemple de l'anémie falciforme, qui est une modification héritable de la forme des globules rouges très handicapante. Cependant, cette malformation des globules rouges a pour conséquence de rendre les personnes touchées résistantes à l'infection par le parasite de la malaria. Donc, en zone infestée par ce parasite, les personnes atteintes par l'anémie falciforme sont avantagées. Ce tri, où les dés sont pipés dans un sens ou dans un autre, est ce que Darwin a appelé la sélection naturelle. C'est ce processus que reproduisent les éleveurs dans leurs élevages. Si l'on reprend l'exemple des îles océaniques isolées, chacune a ses propres caractéristiques environnementales et, dans chacune d'elles, le mutant avantageux ne sera pas forcément le même. Les effets conjoints de la sélection naturelle et de la dérive génétique accéléreront donc la différenciation de populations isolées.

Voir Aussi  
Aucun résultat

Du même auteur

[Découvertes en pays d'islam](#)  
02/06/16

[L'Océan, ma planète... et moi !](#)  
02/06/16

[L'Océan, ma planète... et moi ! - L'Océan et le Cl...](#)  
15/10/15

[29 notions-clefs : les séismes](#)  
08/04/14

[29 notions-clefs : la gravitation](#)  
07/04/14

Commentaires  
Aucun commentaire