

## EVOLUTION ET PROBABILITÉS

Borojeni

Message envoyé le : 29 Novembre 2015

Bonjour,

J'avais toujours eu du mal être convaincu par le fait que la mutation génétique dû au hasard et la sélection naturelle puissent expliquer toute la complexité de l'évolution de la vie. Pourtant cela nous a toujours été enseigné comme une évidence à l'école. Pour moi la question méritait une analyse statistique et de probabilité, une vraie démonstration. Le problème est que dès qu'on ose poser des questions à propos de l'évolution, on est taxé de créationniste archaïque illettré :-)

Or le seul endroit où j'ai trouvé un calcul de probabilité est bien sur un site créationniste : [http://www.creationnisme.com/2009/05/preuve\\_mathematique/](http://www.creationnisme.com/2009/05/preuve_mathematique/)

Le site n'est donc peut-être pas digne de confiance, mais le calcul me semble juste. J'ai aussi lu des contre arguments sur d'autres sites mais les arguments ne semblent pas solides car pas de vrai calcul à l'horizon : <http://www.charlatans.info/evolution-et-proba.shtml>

D'après le premier site il y a environ  $10^{80}$  atomes dans l'univers et  $10^{20}$  secondes depuis le big bang. Si chaque atome était en fait un gène et qu'il essaye de faire une mutation par seconde depuis le début de l'univers, nous aurions  $10^{100}$  mutations, donc  $10^{100}$  combinaisons différentes de gènes. C'est beaucoup !

Le problème est que, toujours d'après ce même site, un petit gène comporte 1000 paires de bases. Ce qui fait  $4^{1000}$  combinaisons possibles, soit  $10^{602}$ . On est très loin des  $10^{100}$  tentatives de toutes les atomes de l'univers depuis sa création !

J'ai vérifié les quelques informations de ce site sur d'autres sites plus conventionnels. Le chiffre de  $10^{80}$  revient souvent comme une estimation du nombre total d'atomes dans l'univers. Pour le nombre de secondes depuis le big bang, j'ai fait le calcul, ça semble cohérent. Par contre, apparemment on peut avoir des gènes de moins de 1000pb. 400bp semble être la limite basse, ce qui fait  $4^{400}$  combinaisons, toujours largement plus que  $10^{100}$ .

Enfin, d'après le 2d site, si je comprends bien l'argument, la sélection naturelle ferait diminuer drastiquement le nombre d'essais en éliminant les mauvaises combinaisons. Mais je ne comprends pas en quoi cela est un argument, sachant que dans ce cas, au lieu de jouer avec les  $10^{80}$  atomes, on ne joue qu'avec un nombre de plus en plus petit de gènes retenus par la sélection naturelle pour faire les tentatives de combinaisons.



L'autre argument serait la conservation des bonnes combinaisons intermédiaires. Un gène de 1000pb serait constitué de la mutation d'un gène de 999pb déjà existant dont on ne change qu'un pb. Ce qui ne demande que 4 essais pour une réussite. Si on continue cette logique, on peut créer un gène de 1000pb en moins de 3001 tentatives depuis un premier gène de 1pb. Je pense que c'est une bonne piste de réflexion mais si le plus petit des gènes fait 400pb, cela ne fonctionne pas ! Car tant qu'il n'y a pas un premier gène, comment faire pour en faire un 2d à partir de ce premier. D'ailleurs à ce sujet, un premier gène ne survivant pas seul à la sélection naturelle, il faudrait tout un génome complet. Et à priori le plus petit des génomes compterait non pas 400pb mais 160000pb. Cela signifie qu'il faut déjà 4 puissances 160000 essais avant d'avoir un premier génome permettant la mise en route du système de sélection naturelle.

L'autre problème que je vois à la sélection naturelle est la suivante : Si je veux écrire le mot «tellement» à partir du mot «telle». Si la sélection naturelle élimine ma proposition «tellemen» à chaque fois que je la tente, elle ne fait que me compliquer ma tâche pour y parvenir !

Je pense donc la théorie de l'évolution basée sur la mutation aléatoire et la sélection naturelle n'est pas évidente à accepter. Pourtant elle est enseignée telle une religion. Je pense aussi que la remettre en question ne revient pas forcément à accepter que le monde ait été créé en 7 jours. Je pense surtout que la question mérite d'être creusée par les scientifiques pour notamment chercher d'autres mécanismes susceptibles d'augmenter la probabilité des bonnes combinaisons, peut-être une sorte de sélection naturelle de très bas niveau, dès les premières combinaisons de paires pour faire des fragments de gènes, comme des mots avant de devenir des phrases. Peut-être que certaines combinaisons demandent moins d'énergie à se constituer et deviennent ainsi plus probables...

Enfin les questions que je me pose sont les suivantes :

Est-ce que ces questions interrogent milieu scientifiques ou est-ce aucun doute ne persiste sur les mécanismes de l'évolution ?

Si des doutes existent, pourquoi une théorie est enseignée comme un dogme ?

Dans le cas contraire, pourriez-vous m'éclairer ?

En vous remerciant par avance,  
Cordialement,

Hossein Borojeni

Arnaud\_MNH

Message envoyé le : 01 Décembre 2015

Bonjour,

Votre message est très intéressant (et très long !) et je vais essayer de répondre à tous les points que vous avez soulevés. J'en profite pour vous rappeler quand même que vous avez posté ce message sur un forum de questions pour les lycéens pour les aider à préparer leurs TPE... les questions sont donc bien au-delà du champ



de compétence du forum mais ce n'est pas grave. C'est quand même très intéressant et ça permettra aussi aux élèves de lire des débats d'un niveau un peu plus avancé.

Alors, tout d'abord, je ne suis pas d'accord avec votre vision «dogmatique» de l'enseignement de l'évolution. Affirmer que l'évolution est enseignée comme une religion (ce que vous dites au moins deux fois dans votre message) est pour moi extrêmement biaisé.

Je m'explique :

L'évolution (et la sélection naturelle) est effectivement une théorie scientifique, mais pas au sens «hypothétique» du terme.

Une théorie scientifique est un ensemble d'explications, de notions ou d'idées sur un sujet précis induits par l'accumulation de faits prouvés par l'observation ou l'expérience. Par exemple, le fait que l'information héréditaire soit portée par les gènes consiste aussi en une théorie (théorie chromosomique de l'hérédité) au même titre que celle de la sélection naturelle. Et pourtant, personne ne vient remettre en question l'enseignement de la théorie chromosomique de l'hérédité... Et son enseignement n'est pas moins «dogmatique» que celui de l'évolution. Pourquoi tant de controverse sur l'évolution, alors ? Pour la simple et bonne raison que ce sujet d'étude vient mettre à mal cette fois un réel dogme qui est, lui, religieux.

La science, contrairement à la religion, évolue et change en fonction de l'accumulation des faits d'observations et empiriques. Il n'y a pas de vérité pérenne en science. Si on prend l'exemple de l'évolution, notre façon d'expliquer son mécanisme est aujourd'hui très différente de celle de Darwin (il y a 150 ans). Certains éléments sont toujours d'actualité et enseignés car l'observation et l'expérience les soutient fortement. D'autres ont été abandonnés (car prouvés faux par l'expérience) et beaucoup de découvertes nouvelles ont également été prises en compte (découverte de l'ADN, étude de la génétique des populations...).

Il en est de même pour tous les pans de la science. Ce que les gens apprenaient en immunologie il y a 50 ans et ce qu'ils apprennent aujourd'hui est très différent car, comme toute discipline scientifique, cette science évolue en fonction des nouvelles données.

Alors, dire que l'évolution est enseignée comme un dogme, comme une religion, c'est affirmer que toutes les sciences sont enseignées comme un dogme.

Concernant maintenant la question de fond sur la sélection naturelle :

Premièrement, vous vous demandez "Est-ce que ces questions interrogent le milieu scientifiques ou est-ce qu'aucun doute ne persiste sur les mécanismes de l'évolution?".

Bien sûr que ces questions interrogent toujours le milieu scientifique ! Beaucoup de chercheurs continuent d'étudier les mécanismes de l'évolution, nous en avons d'ailleurs un grand nombre ici au Muséum national d'Histoire naturelle qui s'intéressent à ces questions. Cette discipline fait l'objet de nombreuses recherches partout dans le monde et contrairement à ce que les gens croient cela participe à faire évoluer notre vision des mécanismes de l'évolution qui a bien changé depuis Darwin...

Deuxièmement, vous soulevez une question sur la mutation génétique et le "hasard".



En bref : Oui, toutes les observations et expériences effectuées depuis plus de 150 ans vérifient le postulat de base de Darwin qui est que les individus d'une même espèce/population présentent des variabilités aléatoires et que certaines de ces variabilités sont sélectionnées par les conditions environnementales (sélection naturelle).

Le mécanisme est le suivant : les mécanismes de réplication de l'ADN et l'environnement (entre autres) sont de telle sorte qu'au sein d'une même population, les individus présentent des variabilités. Les caractères variables que l'on peut observer (par exemple, la couleur des cheveux, la capacité à digérer telle ou telle substance etc...) sont appelés caractères phénotypiques. Ils sont contrôlés par les caractères génotypiques (l'information contenue dans le génome). En effet, les gènes codent les protéines. Une modification d'un gène peut entraîner (ou pas) la modification d'une protéine (donc le phénotype).

En effet, il peut y avoir des erreurs lors de la réplication de l'ADN (par exemple) qui ont pour conséquence qu'entre un individu A et un individu B, le gène X codant pour la protéine x présente des différences dans les paires de bases. On parle de mutation. Ces mutations sont effectivement aléatoires (l'individu ne va pas faire exprès de modifier ses paires de bases). Les différences qui peuvent être engendrées ont (au moins) trois types de conséquences :

- aucune conséquence (mutation neutre) > dû à la dégénérescence du code génétique (64 codons codent pour 22 acides aminés donc forcément la modification d'une paire de base peut ne rien changer au niveau de la protéine)
- une conséquence négative > l'ajout/la délétion/le remplacement d'une ou plusieurs paire(s) de bases peut engendrer une protéine écourtée ou non-fonctionnelle qui peut sévèrement léser un individu (maladies génétiques)
- une conséquence positive > certaines de ces mutations peuvent par exemple permettre aux organismes chez lesquels elles surviennent de supporter des conditions de stress environnemental mieux que la forme sauvage

Donc on a bien une variabilité aléatoire présente dans toutes les populations. Cette variabilité est due au "hasard", elle n'est pas déclenchée par l'individu lui-même ou une quelconque "force de la nature". Elle est simplement inhérente aux mécanismes de réplication de l'ADN, et ça beaucoup d'expériences le soutiennent.

Vient ensuite le mécanisme de sélection naturelle. Les individus présentant des mutations aléatoires avantageuses auront plus de probabilité d'atteindre l'âge adulte et de se reproduire que ceux ne les ayant pas. Le milieu agit ainsi comme un filtre qui va, petit à petit, favoriser les individus ayant telle mutation jusqu'à ce qu'ils deviennent majoritaires.

Surtout, ce qui est important, c'est qu'une mutation n'est jamais négative ou positive de façon absolue. Le côté négatif/positif est relatif à l'environnement.

#### Un exemple : la drépanocytose.

Il s'agit d'une maladie génétique, c'est à dire qu'une mutation sur un gène a induit une protéine défectueuse. Dans ce cas, les porteurs du gène souffrent d'ischémie et ont des globules rouges défectueux. Mais comme toute maladie génétique elle est héréditaire, et dans des conditions "normales" la drépanocytose devrait ne toucher qu'une petite partie de la population (ce qui est le cas dans la



plupart des pays) puisque justement ses individus ont une plus faible probabilité de se reproduire et de survivre. Mais on observe que dans certains pays touchés par le paludisme, la proportion de drépanocytaires est très élevée. Pour la simple et bonne raison que les porteurs de la maladie ont des globules rouges déformés certes mais qui ne peuvent du coup pas être infectés par le Plasmodium (organisme responsable du paludisme). Une mutation a priori négative et peu probable d'être sélectionnée est pourtant positive dans d'autres conditions et ainsi sélectionnée par la sélection naturelle.

C'est vraiment très simplifié ce que je vous dis, mais si je devais vraiment rentrer dans le détail, il nous faudrait beaucoup plus de temps pour en discuter... Surtout que je ne suis pas du tout un spécialiste de la question.

Enfin, je ne vois pas exactement où vous voulez en venir avec ces histoires de calculs d'atome... J'avoue à première vue ne pas du tout voir le rapport avec la sélection naturelle. Essayez-vous de discuter de la création du tout premier gène de l'histoire du vivant ?

Dans tous les cas, je vous invite à consulter l'ouvrage suivant : Guide critique de l'évolution (Guillaume Lecointre). Beaucoup de vos questions y sont traitées avec pédagogie et (le plus important) avec précision. Je vous envoie aussi (par messagerie privée) l'adresse mail d'un chercheur spécialiste de la question, qui sera largement plus en mesure de vous répondre sur ces questionnements que moi.

Bonne journée,  
Arnaud Schmitt  
Doctorant MNHN

Borojeni

Message envoyé le : 02 Décembre 2015

Bonjour,

Merci pour votre description du mécanisme de l'évolution telle que décrite aujourd'hui. Malheureusement cette description ne me permet pas de lever la contradiction qui apparaît dans les calculs de probabilité que j'avais soulevée.

En résumé, les calculs laissent à penser qu'il y a trop de réussite dans le mécanisme de l'évolution pour que ce soit du pur hasard. Comme si un joueur du casino avait un Quinte flush avec une fréquence trop élevée (par exemple une fois sur 3, au lieu d'une fois tous les 50000) et que cela dure depuis 3 milliards d'années. Je pense qu'à un moment donné, le directeur du casino se dit que les cartes sont peut-être truquées.

Cordialement,

Borojeni



Bonjour,

Malheureusement, je ne vois pas en quoi les calculs que vous présentez montreraient une quelconque contradiction avec les mécanismes de l'évolution... Les calculs sont sans rapport avec le sujet. Le nombre d'atomes de l'univers n'a absolument rien à voir avec les fréquences de mutation d'un gène... Le problème de la démarche de ce calcul, c'est qu'il compare des choses pas du tout comparables. Il n'y pas de véritable tentative d'estimer la possibilité ou non d'une possible évolution liée à la mutation génétique.

Décortiquons :

**“D’après le premier site il y a environ 10 puissance 80 atomes dans l’univers et 10 puissance 20 secondes depuis le big bang.”**

Peut-être, mais je ne vois pas le rapport avec le sujet...

**“Si chaque atome était en fait un gène”**

Alors déjà, le postulat de base est bancal, pourquoi partir du principe que chaque atome de l'univers est en fait un gène..? Quelle drôle d'idée. Même à des fins comparatives, c'est complètement inapproprié...

**“et qu’il essayer de faire une mutation par seconde”**

Un gène n'a pas de volonté propre (c'est une suite de... nucléotides) donc il "n'essaie" pas de faire des mutations. Parfois il en subit par contre, notamment lors de la réplication de l'ADN. D'où sortez-vous le chiffre d'une mutation par seconde ? Sur un gène? Sur plusieurs ? Au sein d'un individu, de plusieurs ? Dans quel référentiel vous placez vous ? De quoi parlez-vous, en fait ? Des précisions s'il vous plaît.

**“depuis le début de l’univers, nous aurions 10 puissance 100 mutations, donc 10 puissance 100 combinaisons différentes de gènes. C’est beaucoup !”**

La vie terrestre n'existe pas depuis le début de l'Univers puisque la Terre n'a que 4,54 milliards d'années et l'univers 13,8 milliards d'années. (la vie extra-terrestre, par contre, je ne peux pas vous dire...). On estime son apparition il y a moins de 4 milliards d'années. Donc déjà, ça coince... Ensuite, vous dites que l'on a 10 puissance 100 mutations donc 10 puissance 100 combinaisons différentes de gènes. Je ne vois pas de quoi vous parlez... Au sein d'un même être vivant, au sein de tous les êtres vivants ? À quel moment ?

Donc je résume, SI chaque atome de l'univers était un gène (?) et SI ces gènes "essayaient" de faire une mutation par seconde (??) et SI la vie existait depuis le big bang (???) alors on aurait 10 puissance 100 combinaisons POSSIBLES de gènes. Mais vous conviendrez que les trois postulats de base ne sont pas remplis... donc les chiffres obtenus... et bien je ne sais pas trop ce que vous pouvez en faire...

**“Le problème est que, toujours d’après ce même site, un petit gène comporte 1000 paires de bases. Ce qui fait 4 puissance 1000 combinaisons possibles, soit 10 puissance 602. On est très loin des 10 puissance 100 tentatives de toutes les atomes de l’univers depuis sa création !”**

Donc là vous dites qu'un gène de 1000 pb peut avoir mathématiquement





quement 4 puissances 1000 combinaisons possibles. Certes, sauf que vous oubliez la nature biologique d'un gène. Un gène est répliqué et transmis à la descendance, il n'apparaît pas magiquement par hasard avec une combinaison aléatoire à chaque réplication. Il peut y avoir une très faible marge d'erreur lors de la réplication ce qui explique la variabilité. Ainsi, seulement une faible part des 4 puissance 1000 combinaisons mathématiques possibles ont dû exister depuis le début de la vie terrestre... Et quand bien même, je ne vois pas en quoi comparer ce chiffre au nombre d'atomes de l'univers est pertinent...

**“Enfin, d'après le 2d site, si je comprend bien l'argument, la sélection naturelle ferait diminuer drastiquement le nombre d'essais en éliminant les mauvaises combinaisons.”**

Il n'y a pas de mauvaises combinaisons sensu stricto. La sélection naturelle est relative. Ce n'est pas un mécanisme absolu, comme je vous l'ai expliqué dans mon précédent message. Elle dépend des conditions environnementales qui sont variables. Les variabilités filtrées et conservées par la sélection naturelle ne sont donc pas les mêmes en fonction de l'environnement.

**“Mais je ne comprend pas en quoi cela est un argument, sachant que dans ce cas, au lieu de jouer avec les 10 puissance 80 atomes, on ne joue qu'avec un nombre de plus en plus petit de gènes retenus par la sélection naturelle pour faire les tentatives de combinaisons.”**

Vu tout ce que l'on a démontré plus tôt, vous conviendrez que cette phrase n'a plu beaucoup de sens.

**“L'autre problème que je vois à la sélection naturelle est la suivante : Si je veux écrire le mot «tellement» à partir du mot «telle». Si la sélection naturelle élimine ma proposition «tellemen» à chaque fois que je la tente, elle ne fait que me compliquer ma tâche pour y parvenir !”**

Cela dépend. Si “tellemen” n'a pas d'influence négative sur le phénotype, il ne sera pas forcément éliminé.

Donc en résumé, les calculs ne laissent à penser... pas grand chose. Ils ne démontrent en rien l'impossibilité de l'évolution à être due à des mutations aléatoires. Et encore moins l'existence d'une force “supérieure” qui orienterait les mutations “dans le bon sens”.

Je vous laisse cogiter là-dessus. A priori, il y a beaucoup de concepts liés à l'évolution qui semblent encore flous pour vous. Je le répète, n'hésitez pas à vous documenter sur le sujet notamment grâce à l'ouvrage auquel j'ai fait référence dans le précédent message.

Bonne soirée,  
Arnaud Schmitt  
Doctorant MNHN

Borojeni

Message envoyé le : 03 Décembre 2015

En fait c'est très simple, ce calcul qui n'est pas le mien mais que je trouve assez démonstratif dit simplement ceci :  
- le nombre de gènes dans l'univers est forcément inférieur au nombre d'atomes dans l'univers



- le nombre de secondes depuis l'apparition de la vie dans l'univers est forcément inférieur au nombre de secondes depuis le big bang
- le nombre de mutations d'un gène est à priori inférieur à une par seconde (désolé pour la formulation qui donnait l'impression qu'un gène «essayait», il s'agissait d'une expression)

Donc, le nombre total de toutes mutations qui aient pu exister sur l'ensemble des gènes de tous les êtres vivants depuis que la vie existe sur terre est forcément inférieur au résultat du calcul précédent, soit  $10^{100}$ .

A l'opposé, si nous disposions de plein de nucléotides en vrac et que nous voulions reconstituer une combinaison (une phrase) bien spécifique de 1000 nucléotides par le mécanisme du hasard, comme si nous lançions des dés, nous n'aurions qu'une chance sur  $10^{602}$  pour y parvenir.

Ces 2 chiffres ont bien un rapport ensemble :

- le premier donne le nombre de tentatives maximum
- le second, la probabilité de réussite à chaque tentative

la multiplication des 2, donne la probabilité de réussite totale, soit 1 sur  $10^{502}$ .

Cela ne veut pas dire que c'est impossible. Cela veut simplement dire que c'est très très ... très improbable. Il est donc utile de chercher aussi ailleurs et ne pas s'arrêter sur cette première solution très improbable. De la même manière qu'un directeur de casino chercherait à vérifier que le jeu ne soit pas truqué si il constate une répétition de gains à très faible probabilité.

Je me dis que c'est peut-être ce qui s'est passé dans la tête de Copernic quand il a vu les mouvements trop compliqués des astres dans le système géocentrique. Il s'est peut-être dit que même si ces mouvements complexes sont appuyés par des observations scientifiques, ils sont trop complexes, trop improbables pour les accepter tel quel, et que la solution est peut-être ailleurs.

Merci pour ces échanges,  
Bonne soirée également,

Borojeni

Arnaud\_MNHN

Message envoyé le : 03 Décembre 2015

Bonjour,

Le problème c'est que, comme je vous le dis, ce calcul n'a pas de sens car ne prend pas du tout en compte les mécanismes de production d'un gène. Le calcul n'est pas approprié !

En fait tout ce qu'il montre c'est que (je vous cite) :

«si nous disposions de plein de nucléotides en vrac et que nous voulions reconstituer une combinaison (une phrase) bien spécifique de 1000 nucléotides par le mécanisme du hasard, comme si





nous lançons des dés, nous n'aurions qu'une chance sur 10 puissance 602 pour y parvenir.»

Sauf que ça ne se passe pas comme ça du tout la réplication de l'ADN...

Je vais me répéter, les gènes qui sont à l'intérieur de nous ne sont pas du tout formés complètement par hasard comme si nous lançons des dés. Ils sont issus de mécanismes biologiques qui ont des propriétés. Propriétés absolument pas prises en compte dans le calcul. En effet, ils sont issus de réplifications et transmis par nos géniteurs.

Les conditions du calcul ne sont pas réunies pour tenter de discuter d'objets (les gènes) variant dans le temps (mutations) et l'espace (variabilité individuelle) selon des propriétés bien particulières (mécanismes de réplication, hérédité).

La seule chose que vous mettiez en évidence, c'est que les probabilités pour que le monde dans lequel on vit actuellement soit exactement le même dans deux versions parallèles de l'Histoire (sans partir dans la sci-fi non plus) sont très faibles. Et effectivement, le hasard fait que, si les choses avaient été un tant soit peu différentes et bien la Vie aurait pu être très différente voire ne pas être du tout. Et là, je vous rejoins.

Bonne journée,  
Arnaud Schmitt

