

Partie I (8 points)

Diversification génétique et diversification des êtres vivants

L'association des mutations et des brassages génétiques au cours de la méiose et de la fécondation ne suffit pas à expliquer la totalité de la diversification des êtres vivants. D'autres mécanismes interviennent.

Décrire les mécanismes qui, en dehors de la méiose et la fécondation, sont à l'origine d'une diversification des êtres vivants. Montrer ensuite comment un de ces mécanismes permet d'expliquer des différences entre deux espèces proches génétiquement : l'Homme et le chimpanzé.

L'exposé doit être structuré avec une introduction, un développement et une conclusion. Sont exclus de votre sujet les brassages génétiques intervenant au cours de la méiose et les mécanismes conduisant à des anomalies au cours de la méiose.

FIGURE 1: Le sujet de l'exercice de synthèse

En 2050, alors que la population mondiale risque de dépasser 11 milliards d'**humains**, les quelques milliers de **chimpanzés** actuels auront sans doute disparu de leurs forêts d'Afrique centrale. Ces deux primates présentent pourtant 98,7 % de similitude dans l'alignement de leur génome, ce qui pourtant pourrait sembler un gage de proximité dans le succès évolutif.

Si la **diversité** des caractères exprimés par les individus a permis à la vie de traverser les 3,8 Ga de l'histoire de la Terre, l'évolution du vivant ne peut pas être réduite à la compétition de combinaisons d'allèles résultant de la « grande tombola » qui se déroule lors du brassage génétique associé à la reproduction sexuée. Ce modèle n'explique pas tout.

Comment, parallèle à la méiose et à la fécondation, un bricolage évolutif parvient-il, en grande partie, à rendre compte du vivant dans sa complexité et de sa capacité à s'adapter aux environnements les plus variés ?

En excluant donc le brassage génétique intervenant au cours de la méiose et les anomalies de celle-ci, nous allons présenter certains de ces bricolages évolutifs.

- Nous traiterons dans un premier temps de quelques mécanismes directement génétiques, tels que l'hybridation suivie de polyploïdie, les mutations ponctuelles aux conséquences fondamentales et les transferts horizontaux de gènes.
- Puis nous nous pencherons sur des cas où le facteur génétique intervient de façon beaucoup moins directe telles que l'association d'êtres vivants et de transmission entre individus d'information, non-génétique, riche en conséquences comportementales.
- Nous nous intéresserons enfin à l'importance de ces mécanismes dans la différence entre l'Homme et le chimpanzé.

*

Innovation et génome.

Certaines innovations reposent sur une restructuration complète du génome. Le croisement de deux espèces différentes débouche généralement par la formation d'un hybride stérile qui ne peut produire des gamètes féconds, ses chromosomes maternels et paternels ne pouvant s'appareiller correctement lors de la prophase de la première division de méiose. La polyploïdisation (doublement du nombre de chromosomes suite à une division anormale), si elle suit une hybridation, permet de rétablir une organisation en paires de chromosomes homologues. Ce mécanisme joue un rôle majeur dans l'évolution. Il a affecté, à un moment ou à un autre, 70 % des plantes à fleurs (dont presque toutes celles qui sont cultivées dont le blé), mais il reste plus anecdotique dans le règne animal.

Plus modestement, l'innovation peut résulter d'un « bug » génétique. Les gènes homéotiques programment l'activité de milliers d'autres gènes au cours du développement de l'individu et contrôlent ainsi son plan d'organisation.

Les gènes homéotiques, qui contrôlent la mise en place des différentes régions du corps d'un animal le long de l'axe antéro-postérieur, présentent de nombreuses similitudes d'une espèce à l'autre, similitude dans leur séquence et dans leur fonction. Cette conservation témoigne du rôle fondamental joué par ces gènes. Les gènes homéotiques sont des gènes de régulation qui déclenchent l'activité d'autres gènes. Des modifications même minimales dans les modalités d'expression de ces gènes peuvent avoir des conséquences importantes dans le plan d'organisation des individus et entraîner des conséquences phénotypiques importantes.

Des mutations de gènes homéotiques sont capables de déclencher des hétérochronies du développement. Chez un individu, une simple mutation autorisant, inhibant ou modifiant l'expression d'un gène homéotique à une étape donnée du développement, peut suffire à changer la morphologie d'un ou de plusieurs caractères, les fonctions d'un ou de plusieurs organes, voire l'ensemble du plan d'organisation ; ces modifications pourront ensuite être transmises à la descendance de cet individu.

Des formes vivantes différentes sur le plan morphologique ou physiologique peuvent ainsi être très proches sur le plan génétique. Ce paradoxe apparent s'explique par une variation dans l'intensité d'expression de gènes communs ou une variation dans la chronologie de l'expression de gènes communs.

L'innovation peut également provenir d'un transfert par voie virale ou par simple intégration. La transmission de gène par voie sexuée (transmission verticale) n'est pas la seule modalité de transfert de matériel génétique. Une cellule peut intégrer dans son génome de l'ADN présent dans son environnement ; cette intégration peut également avoir lieu à la suite d'une contamination virale. On parle dans ce cas là de transfert horizontal de matériel génétique. Depuis l'origine des vertébrés il y a environ 500 millions d'années, de nombreuses insertions de rétrovirus se sont produites dans le génome des gamètes (spermatozoïdes et ovules) de leurs espèces hôtes. Le transfert de matériel viral a joué un rôle fondamental dans l'histoire des mammifères placentaires.

Chez l'homme, deux gènes d'origine rétrovirale, introduits chez les primates voilà quelque 40 millions d'années, codent pour des molécules, appelées syncytines, qui permettent la mise en place du placenta.

Innovations et relations entre les êtres vivants

Associations symbiotiques

La diversification du vivant est également possible sans modifications des génomes. La symbiose, association physique durable entre deux organismes d'espèces différentes et bénéfique à chacun d'eux, a rendu possible la colonisation de milieux extrêmes, et conditionne même l'existence de certains écosystèmes.

Le lichen, une symbiose algue-champignon par exemple, permet la formation d'un sol à partir de roche, ayant rendu possible la colonisation, par les végétaux, de la surface des continents il y a près de 400 millions d'années au Dévonien.

Chez les eucaryotes, par l'endosymbiose, de bactéries sont devenues des compartiments spécialisés du cytoplasme, des organites :

- *les mitochondries permettent d'utiliser le pouvoir oxydant (toxique pour la vie cellulaire) du dioxygène pour fournir de l'énergie à la cellule, rendant possible la respiration cellulaire ;*
- *les chloroplastes en utilisant la lumière du Soleil pour la photosynthèse permettent l'autotrophie au carbone de la cellule.*

Comportements nouveaux et apprentissage

Chez des vertébrés, certaines différences dans les phénotypes comportementaux sont transmises par apprentissage social plus que par différences génétiques. Des phénotypes comportementaux variés transmis d'une génération à l'autre par voie non génétique sont aussi source de diversité.

Ainsi le chant du Diamant Mandarin qui joue un rôle fondamental dans sa parade nuptiale (et donc dans la transmission des caractères de l'individu), est appris par imitation du chant des adultes.

L'Homme, le chimpanzé, les gènes et le temps

En plus des similitudes morphologiques et anatomiques, l'Homme et le chimpanzé partagent la présence de la bipédie dans leur répertoire locomoteur, quasi exclusive chez l'Homme. Ils ont développé des caractéristiques techniques, utilisation d'outils, et sociales remarquables, partage de la nourriture, apprentissage par imitation, empathie, communication par gestes et mimiques... Du point de vue génétique et de la structure chromosomique, les ressemblances sont frappantes : 98,7 % de similitude dans l'alignement des génomes, 14 paires de chromosomes (dont le X et le Y) identiques entre les 2 caryotypes... et quelques remaniements facilement identifiables pour les autres.

L'Homme et le chimpanzé sont donc deux espèces très proches. Leurs différences s'expliquent essentiellement par la position de certains gènes homéotiques, la durée (ainsi que l'intensité) d'expression de ces gènes. Malgré de faibles différences génétiques, l'Homme et le chimpanzé présentent des différences morphologiques importantes, surtout marquées chez l'adulte, qui s'expliquent par la suspension de poussées de croissance lors

du passage à l'état adulte chez l'humain : pas de développement du *prognathisme* (la *mandibule est parabolique et pas en U*), *absence de migration du trou occipital* (par exemple).

Ainsi sa *face reste aplatie*, son *larynx et son palais rendent possible la phonation, le langage articulé*.

La jonction avec la colonne vertébrale restant à la base du crâne, son *volume crânien peu devenir nettement plus important* (1400cm³ chez l'Homme, contre 400 chez le chimpanzé). Il l'est d'ailleurs d'autant plus que l'adaptation à la *bipédie a des conséquences sur la forme du bassin*, qui en a donc sur la soudure pré-natale des os du crâne (la fontanelle du nourrisson humain). Cette *absence de soudure des os crâniens à la naissance permet ainsi la forte croissance du périmètre crânien* après la naissance. De plus, au tout début du développement embryonnaire, la *durée d'expression de gènes permettant la multiplication des neurones est allongée chez l'Homme : elle est de huit semaines, au lieu de deux semaines chez le chimpanzé*.

L'allongement de la durée de l'expression de gènes responsables de la multiplication neuronale entraîne donc l'augmentation du nombre de neurones chez l'Homme, ce qui le distingue du chimpanzé. Ce retard dans le développement cérébral chez l'Homme confère à son cerveau une plus grande plasticité à la naissance, d'où une plus grande sensibilité à l'apprentissage et donc à la transmission culturelle de comportements complexes (tels le langage).

*

Ainsi, la diversification du vivant s'effectue par plusieurs mécanismes avec modification des génomes (hybridations suivies de polyploïdisation, variations d'expression de gènes de développement, transferts horizontaux de gènes) ou sans modification du génome (symbiose, apprentissage par imitation). Les différences existant entre l'Homme et le chimpanzé s'expliquent en partie par des différences dans les modalités d'expression de gènes homéotiques mais...

"*Nous ne naissons pas Hommes mais que nous le devenons par l'éducation*". Cette idée développée par Érasme semble également vraie pour nos très proches cousins.

Chez le chimpanzé aussi l'acquisition du phénotype au cours du développement post-natal se fait sous l'interaction entre l'information génétique et l'environnement (dont la relation aux autres individus). Cependant peu de place pour le bac blanc de février dans cette éducation de chimpanzé. Doit-il le regretter ?