

## Chapitre D2 - La complexification des génomes

**Problématique : quels processus interviennent dans la diversification des génomes ?**

### I- Accidents génétiques de la méiose et complexification du génome

Lors de la méiose, le crossing-over correspond normalement à des échanges de portions parfaitement homologues de chromatides.

Dans certains cas, des **crossing-over inégaux** peuvent se produire, **des fragments non homologues de chromatides sont échangés**, donc les chromatides recombinés présentent des anomalies:

- une chromatide recombinée est privée d'un ou plusieurs gènes
- l'autre chromatide possède un ou plusieurs gènes en plus; ces copies supplémentaires sont appelées **duplicatas**; elles sont situées sur le même chromosome, mais à un locus différent de celui du gène dupliqué (souvent à la suite les uns des autres). On parle de **duplication**.

D'autres événements génétiques peuvent contribuer à déplacer ce duplicata au sein du même chromosome ou entre 2 chromosomes différents (homologues ou non homologues) :

- la **translocation** : il s'agit d'un échange de fragments chromosomiques entre des chromosomes différents
- la **transposition** : il s'agit d'un déplacement autonome d'une séquence d'ADN et de son insertion dans le génome. Le déplacement de l'élément transposable (= transposon) nécessite une enzyme.

Ces nouvelles copies du gène obtenues peuvent ensuite subir des **mutations ponctuelles** de façon indépendante et coder pour des protéines qui pourront être pourvues de nouvelles fonctions.

**Les différentes copies d'un même gène ancestral constituent une famille multigénique** (protéines dont les séquences présentent au moins 20% d'identités). **Une famille multigénique se construit donc à partir de copies de gènes qui se différencient ultérieurement par mutations aléatoires.**

Ce mécanisme de **duplication/transposition/mutations indépendantes** permet ainsi d'enrichir le génome par apparition de nouveaux gènes et représente donc un mécanisme essentiel de la complexification du génome. Ce type d'événements constitue des **innovations génétiques**.

Ces innovations peuvent être neutres, favorables, ou défavorables.

En règle générale, la perte d'un gène est létale et donc un chromosome dépourvu d'un ou plusieurs gènes ne se maintient pas dans la population puisque les zygotes porteurs de ce type d'anomalies ne peuvent se développer.

Dans le cas où le gain d'un gène constitue un avantage pour l'individu, le chromosome porteur d'une copie d'un gène est transmis donc se maintient au cours des générations.

## II- Transferts horizontaux au sein des génomes

### a) Des transferts par divers processus

Ces échanges de matériel génétique, hors de la reproduction sexuée, constituent des **transferts horizontaux** (contrairement aux transferts entre descendants lors de la reproduction sexuée = transferts verticaux).

Ils se font par des **processus variés** :

- par **transfert libre**, c'est-à-dire introduction directe et expression de matériel génétique étranger libre dans le milieu (ADN, ARN...). C'est le cas de la **transformation** : dans certaines conditions, des fragments d'ADN libres pouvant contenir plusieurs gènes sont intégrés par des bactéries ; ce processus s'observe chez un nombre très limité d'espèces, essentiellement présentes dans le sol et les écosystèmes aquatiques.
- par **conjugaison bactérienne** entre 2 bactéries. Les bactéries possèdent de petites molécules d'ADN circulaires appelées plasmides, très facilement transférées entre bactéries, grâce à l'établissement de ponts cytoplasmiques qu'elles établissent entre elles.
- par l'intermédiaire de **vecteurs viraux**. En parasitant les cellules (bactéries ou eucaryotes), les virus y transfèrent leurs gènes qui peuvent parfois s'intégrer au génome de la cellule hôte. De plus, l'ADN viral fabriqué par les cellules parasitées peut également incorporer des gènes de la cellule hôte et ainsi les transférer à d'autres cellules au cours d'infections ultérieures : c'est le mécanisme de **transduction**.
- par **transfert intracellulaire**, quand des gènes d'une bactérie intégrée dans la cellule sont transférés dans le noyau cellulaire. (voir l'endosymbiose)

### b) Un rôle majeur dans l'évolution

L'observation du génome de nombreux organismes montre que ces derniers possèdent des gènes hérités, issus de transfert de gènes d'espèces phylogénétiquement éloignées. Par exemple, on a identifié chez l'humain des gènes provenant de virus, de bactéries, de champignons ou de plantes.

Ces échanges génétiques entre organismes non nécessairement apparentés s'expliquent par l'**universalité de la molécule d'ADN et l'unicité de sa structure** au sein du monde vivant.

Les transferts horizontaux sont très fréquents (par exemple, il a été établi que l'ADN humain contient près de 10% de gènes d'origine virale) et ont des effets très importants sur l'évolution des populations et des écosystèmes. Ils constituent une **source de diversification** des êtres vivants, en faisant acquérir de nouveaux caractères aux lignées qui les reçoivent, permettant une adaptation rapide aux variations de l'environnement.

### c) Importance dans les pratiques de santé humaine.

Les biotechnologies mettent à profit ces propriétés pour transférer et faire s'exprimer des **gènes d'intérêt** dans un organisme différent de celui de départ.

L'intégration et l'expression de gènes humains dans des microorganismes à forte capacité de multiplication comme les levures ou les bactéries, permet la **production massive de molécules** utiles à la santé humaine (insuline, hormone de croissance, analgésiques...) par **transgenèse**.

Mais la fréquence élevée des échanges génétiques pose un problème de santé publique : la **propagation des gènes de virulence ou de résistance** (comme la résistance aux antibiotiques) s'explique essentiellement par le mécanisme de conjugaison bactérienne, et ces transferts sont favorisés par l'abondance de bactéries dans notre environnement proche et notre microbiote.

### III- L'endosymbiose, un mécanisme aux conséquences évolutives majeures

La **symbiose** est une association durable à bénéfices réciproques entre organismes d'espèces différentes. Cette association est d'autant plus étroite que l'un des partenaires vit à l'intérieur des cellules ou des tissus de l'autre (exemple des zooxanthelles dans les tissus des polypes constructeurs de coraux) : on parle alors d'**endosymbiose**.

Le constat de grandes similitudes structurales et biochimiques entre les organites cellulaires et des bactéries vivant à l'état libre dans le milieu a conduit à formuler la **théorie de l'endosymbiose**.

Les chloroplastes seraient issus de cyanobactéries et les mitochondries de bactéries aérobies qui vivaient en symbiose dans le cytoplasme des cellules eucaryotes, entrées dans leur hôte par phagocytose il y a plus de 2 milliards d'années ; au cours du temps, certains gènes présents dans le génome chloroplastique ou dans le génome mitochondrial, auraient été transférés dans le noyau de la cellule hôte conduisant à la modification de son génome. Capables de divisions autonomes, les mitochondries et les chloroplastes, dotés de leur propre information génétique, sont transmis d'une génération à l'autre avec le cytoplasme des gamètes ou par division des cellules : on parle d'**hérédité cytoplasmique**.

Les endosymbioses transmises entre générations, fréquentes dans l'histoire des eucaryotes, jouent un rôle important dans leur évolution. Les transferts de gènes de l'endosymbiote vers le noyau de la cellule hôte contribue à la complexification du génome de cette dernière ; elles confèrent à la cellule hôte de nouvelles potentialités, notamment métaboliques (la réalisation de la respiration), nutritionnelles (la photosynthèse) et protectrices.

**Si l'on fait figurer les transferts horizontaux et les endosymbioses sur un arbre de parenté (ou phylogénétique), on obtient un « réseau phylogénétique » qui traduit la complexité de l'histoire évolutive du vivant.**