

## Chapitre 5 : La complexification des génomes : transferts horizontaux et endosymbioses

La majorité de notre information génétique provient de nos parents, suite à la fusion des deux gamètes lors de la fécondation. Cette transmission, qui se fait d'une génération à la suivante est qualifiée de **transmission « verticale »**, sous-entendu qu'elle est parallèle à l'axe des temps, c'est à dire des ascendants aux descendants.

Toutefois, l'information génétique étant écrite dans un langage commun à tout le monde vivant, d'autres mécanismes permettent de transmettre celle-ci, via par exemple des infections : ces transferts se font en dehors de la transmission générationnelle ; par opposition avec ce type de transmission, on parle alors de **transmission horizontale**.

Par ailleurs, certains êtres vivants ont besoin d'autres êtres vivants pour faire tout ou une partie de leur cycle de vie : c'est le cas des lichens, association d'un champignon et d'une algue (cf. CH5 TP1), des mycorhizes, entre une plante (souvent un arbre) et un champignon ou des coraux, entre une algue et un cnidaire : ces associations, à bénéfice réciproque, sont des **symbioses\***.

*\*symbiose : (du grec σύν sýn, ensemble et βίος bios vie) est une association intime, durable entre deux organismes hétérospécifiques. Les organismes impliqués sont qualifiés de symbiotes ou de symbiontes (anglicisme) ; le plus gros peut être nommé hôte.*

Certains cas de symbioses sont pour le moins troublants : ils semblent résulter de processus de capture de cellules par d'autres, à l'échelle d'un organisme (par prédation) ou cellulaire (par phagocytose) : dans certains cas, ces éléments capturés peuvent être totalement incorporés à des cellules hôtes : on parle alors d'**endosymbiose**.

*Comment se réalisent les transferts horizontaux ? Quelles sont leurs conséquences pour le vivant ?*

*Comment la plasticité du vivant permet-elle de mettre en place des endosymbioses ?*

### I) Les transferts horizontaux de matériel génétique

A) Des transferts fréquents entre bactéries

1) La transformation :

En 1928, le médecin et bactériologue anglais Frederick GRIFFITH (1879-1941) montre, en injectant à des souris un mélange de pneumocoques virulents (souche S) tués par la chaleur avec des pneumocoques non virulents (souche R) vivants, qu'une septicémie généralisée à pneumocoques de type S se développe et tue les souris : il y a eu donc **transformation** du type R en type S.

En 1944, Oswald AVERY (1877-1955, médecin US), Colin MACLEOD (1909-1972, généticien US) et Maclyn McCARTHY (1911-2005, généticien US) montrent que le « principe transformant » est l'**ADN bactérien**, à la surprise du monde scientifique, persuadé que

l'information génétique résidait dans les protéines, et non dans ce polymère monotone répétitif qu'est l'ADN.

La **transformation** est le transfert passif d'ADN d'une bactérie donatrice à une bactérie réceptrice (dite en état de compétence). Le transfert, qui est partiel et limité à quelques espèces bactériennes, entraîne l'acquisition par la bactérie réceptrice de nouveaux caractères génétiques stables et transmissibles.

Mécanisme peu efficace : transfert d'une petite fraction du génome bactérien (<1%), et peu fréquent et limitée à quelques espèces bactériennes, mais gros intérêt théorique, notamment dans la compréhension de l'acquisition de la résistance aux antibiotiques.

### 2) La conjugaison :

La **conjugaison** est un transfert d'ADN entre une bactérie donatrice et une bactérie réceptrice, qui nécessite le contact et l'appariement entre les bactéries, et repose sur la présence dans la bactérie donatrice d'un facteur de sexualité ou de fertilité (facteur F). Celui-ci permet la synthèse de pili\* sexuels et donne la polarité au chromosome. *Le transfert d'ADN chromosomique est à sens unique, orienté, progressif et quelquefois total ; il dure une centaine de minutes à 37°C.*

\**pilus* (pili au pluriel, du latin pilus, poil) : pont entre les deux cytoplasmes bactériens, de 100 à 300 µm de long.

#### Remarques :

- la conjugaison ressemble beaucoup au transfert d'ADN plasmidique ;
- le transfert d'ADN chromosomique par conjugaison ne se produit qu'entre bactéries d'une même espèce (*spécificité*).

### 3) La transduction :

La transduction est le transfert d'ADN bactérien par l'intermédiaire de bactériophages (ou phages), qui sont des virus de bactéries.

Les phages s'intègrent dans le chromosome bactérien sans induire la réplication et sont répliqués en même temps que lui. De temps à autre, un phage se libère du chromosome bactérien, devient virulent, se multiplie, provoque la lyse de la bactérie et peut infecter de nouvelles bactéries. Si, au cours de sa libération, le phage emporte avec lui plusieurs gènes bactériens, il peut y avoir transfert par le bactériophage de gènes bactériens d'une bactérie à une autre : c'est la **transduction**.

Ces transferts sont loin d'être anecdotiques : certains génomes bactériens ont plus de 1000 gènes issus de transferts horizontaux !

## B) Des conséquences importantes dans l'évolution du vivant

Grâce au séquençage des génomes, on se rend compte aujourd'hui que ces transferts horizontaux entre espèces différentes concernent tous les êtres vivants (pas seulement les

bactéries). Par exemple, on estime qu'une centaine de gènes humains proviennent d'autres espèces, comme le **gène de la syncytine**.

Ce gène intervient dans la mise en place du placenta, organe d'échanges entre la mère et l'embryon, caractéristique des mammifères placentaires, en favorisant la fusion de cellules embryonnaires qui sont en contact avec la muqueuse utérine, formant un **syncytium\***. La comparaison de ce gène avec celui codant la protéine de l'enveloppe du virus MPMV\* montre des similitudes à 80 %, donc une origine commune. Le gène humain de la syncytine est aussi retrouvé chez tous les grands Primates, ce qui montre que ce gène est issu d'un transfert de gène du virus MPMV à l'ancêtre commun aux grands Primates et aux Hommes.

\**syncytium* (du grec ancien *sýn*, « ensemble » et *kytos*, « cavité, cellule ») : cellule provenant de la fusion de plusieurs cellules

\**virus MPMV* : virus du singe Mason-Pfizer (*Mason-Pfizer Monkey Virus*), anciennement rétrovirus simien, est une espèce de rétrovirus qui infecte et provoque généralement une déficience immunitaire

Les lézards du genre *Mabuya*, aux Antilles et Amérique du Sud, possèdent aussi un gène de syncytine, et mettent en place un placenta : ils sont donc vivipares, ce qui est exceptionnel chez les reptiles...

Ce type de gène ne peut se transmettre à la descendance que si le transfert a touché des cellules germinales ; mais dans ce cas, si le gène transféré est avantageux, les descendants du receveur seront sélectionnés. Même en étant peu fréquents chez les Eucaryotes, ils finissent par avoir un **rôle évolutif majeur**.

Cet exemple nous montre que la phylogénie n'est pas aussi linéaire qu'elle est présentée habituellement. En effet, dans un arbre phylogénétique, des transferts se font entre branches, ce qui forme une sorte de **réseau** en tresse.

### C) Quelques applications en santé humaine

#### 1) Des conséquences subies : l'acquisition de résistances aux antibiotiques

*Cf. 1<sup>ère</sup> spécialité SVT...*

Chez les bactéries, les mutations permanentes peuvent apporter une **capacité de résistance aux antibiotiques** ; lors de l'utilisation de ces molécules, seules les bactéries résistantes sont sélectionnées, et peuvent alors proliférer, en absence de compétition avec les autres. Mais par conjugaison (ou transformation), ces bactéries peuvent transmettre leurs gènes de résistance à d'autres « espèces », rendant les antibiotiques de moins en moins efficaces.

L'utilisation intensive d'antibiotiques depuis quelques décennies, notamment dans les élevages, a conduit à l'apparition de **souches multi résistantes** dans l'environnement,

susceptibles de menacer la santé humaine. Les politiques de santé publique essayent de faire diminuer la consommation d'antibiotiques en santé humaine et dans les élevages.

## 2) Des conséquences choisies : la transgénèse

Dans certaines pathologies, l'injection d'une seule molécule peut servir de traitements : c'est le cas de l'insuline pour les diabétiques de type 1, de l'hormone de croissance pour les personnes n'en synthétisant pas assez,...

Ces molécules étaient autrefois extraites d'êtres vivants (ou morts), avec des problèmes de quantité, de contamination,... ; depuis les années 1980 et l'essor du **génie biotechnologique**, ces molécules peuvent être synthétisées par **transgénèse** : le gène humain codant la **protéine d'intérêt** est préalablement isolé, puis introduit par transformation dans l'information génétique de bactéries, qui peuvent alors synthétiser la protéine.

Il reste alors à extraire et purifier la molécule synthétisée pour en faire le médicament.

*Les transferts horizontaux résultent donc d'échanges directs d'information génétique entre espèces, quelle que soit leur parenté évolutive ; ces échanges sont d'autant plus favorisés que les espèces coexistent.*

*Est-il aussi possible de transférer l'intégralité d'une cellule, et de récupérer ainsi son information génétique en totalité ?*

## II) Les transferts par capture d'une cellule par une autre : les endosymbioses

### A) Un processus pas si rare que cela...

La limace de mer *Elysia chlorotica* montre une particularité : elle est verte ! Et en plus, elle ne se nourrit qu'une à deux fois au cours de sa vie (9-10 mois), en broutant des algues vertes *Vaucheria litorea*. Elle digère alors les cellules végétales, mais conserve les chloroplastes intacts, incorporés dans ses cellules intestinales, ce qui lui donne sa couleur verte : cette capture permet se traduit par une **symbiose intracellulaire**.

De plus, ces chloroplastes restent actifs (protéines toujours synthétisées) pendant plusieurs mois, permettant, par synthèse de matière organique, de nourrir la limace marine.

D'autres exemples de telles captures et récupération de fonctions ont été décrits :

- Les vers rouges tubicoles (*Riftia pachyptila*), du groupe des Vestimentifères, vivent près des fumeurs noirs ; ils n'ont plus de tube digestif, et hébergent des bactéries chimirotrophes **dans leurs cellules**, qui synthétisent de la matière organique à partir de H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> et O<sub>2</sub> prélevés dans le milieu extérieur ;
- Les cnidaires (anémones, les coraux) hébergent des algues unicellulaires dans leurs cellules ; ces algues réalisent la photosynthèse, et une partie de la production de matière organique est récupérée par la cellule hôte pour son métabolisme ;
- Les algues brunes, dont l'ancêtre commun a capturé une autre algue, elle-même formée par une endosymbiose (cf. paragraphe 2.2. ci-dessous).

Les avantages pour l'hôte sont souvent nutritionnels (vitamines, glucides photosynthétiques, acides aminés essentiels,...). Pour la cellule endocytée, le milieu est stable et protégé des prédateurs, et quelques fois, des nutriments complémentaires lui sont apportés. Ces bénéfices réciproques permettent souvent de vivre dans des milieux pauvres (pour les coraux) voire hostiles (vers tubicoles rouges).

*Ces acquisitions peuvent-elles se transmettre ensuite de génération en génération ?*

### B) Les mitochondries et les chloroplastes, des organites très originaux :

Ces deux organites présentent des caractéristiques surprenantes :

	Caractéristiques des mitochondries	Caractéristiques des chloroplastes
Délimitation	Double membrane ; membrane interne composée de certains lipides spécifiques des membranes bactériennes (absent des membranes des cellules eucaryotes)	
Matériel génétique et utilisation	Présence d'ADN sous forme circulaire (comme l'ADN des bactéries) Présence de ribosomes, de taille identique à ceux des bactéries Activité de transcription et de traduction simultanées, comme chez les bactéries	
Nombre de gènes	67 gènes	87 gènes
Mode de division	Par scissiparité, comme chez les bactéries ( <a href="#">doc2 page 62</a> )	
Métabolisme principal	Respiration	Photosynthèse
Plus proche parent bactérien	$\alpha$ -protéobactéries (1600 gènes)	Cyanobactéries (1500 à 10 000 gènes)
Mode transmission inter-générationnel	Seulement par voie maternelle (ovocyte ou ovule)	

Le mode de transmission de ces organites est aussi particulier : les mitochondries se transmettent par un seul gamète, l'ovocyte.

Dès les années 1970, la microbiologiste Lynn MARGULIS (1938-2011) a émis l'hypothèse d'une **endosymbiose** pour les mitochondries et les chloroplastes ; cette hypothèse a été validée par toutes les études suivantes.

On a aussi compris que ce type d'intégration d'une cellule dans une autre cellule et conservée dans les générations suivantes s'accompagne progressivement d'une perte de gènes de la cellule endocytée au bénéfice du noyau de la cellule ayant réalisé l'endocytose. Ainsi, certains gènes d'origine bactérienne, apportés par les ancêtres des mitochondries et des chloroplastes, se retrouvent aujourd'hui dans l'ADN eucaryote.

Cette transmission est facilitée par la proximité des deux partenaires, et permet donc **la complexification des génomes**, eucaryotes ici.

Ce transfert s'accompagne aussi de la perte de caractères de la cellule endocytée : perte de la paroi, perte de flagelles,...car ces éléments ne sont plus utilisés, et donc ne sont plus sélectionnés. Ce phénomène est irréversible.

Conclusion :

L'universalité de la molécule d'ADN et l'unicité de sa structure dans le monde vivant permettent des échanges entre organismes non apparentés. Cette souplesse d'échange a permis de transférer des fonctions entre des cellules, notamment entre cellules procaryotes et cellules eucaryotes (photosynthèse, respiration).

Ainsi, le génome d'une cellule ressemble à une **mosaïque génétique**, issue certes des cellules parentales, mais enrichi par des gènes provenant d'autres êtres vivants, bactéries, virus,...L'évolution n'est donc pas un processus linéaire, mais plutôt « en tresse » ou **en réseau**, avec des branches qui s'éloignent, et d'autres qui se rapprochent et fusionnent...

*Mots-clés : transferts génétiques horizontaux, transformation, conjugaison, transgénèse, endosymbiose, hérédité cytoplasmique, phylogénies.*