

Réf.02 Chap.II La complexification des génomes

Dans le chapitre 1, nous avons vu que des mécanismes liés à la reproduction sexuée permettent d'augmenter la biodiversité génétique des populations. Cependant, l'universalité de l'ADN au sein du monde vivant autorisent des échanges génétiques entre organismes non nécessairement apparentés. Ces transferts ne s'effectuent pas au cours d'une reproduction sexuée (transfert vertical de gènes aux descendants issus de cette reproduction) mais s'effectuent d'un organisme à un autre en dehors de toute reproduction sexuée, on parle de transferts horizontaux de gènes. On se propose de comprendre comment ces échanges se réalisent et quelles en sont les conséquences sur la santé humaine, sur l'évolution des populations et des écosystèmes.

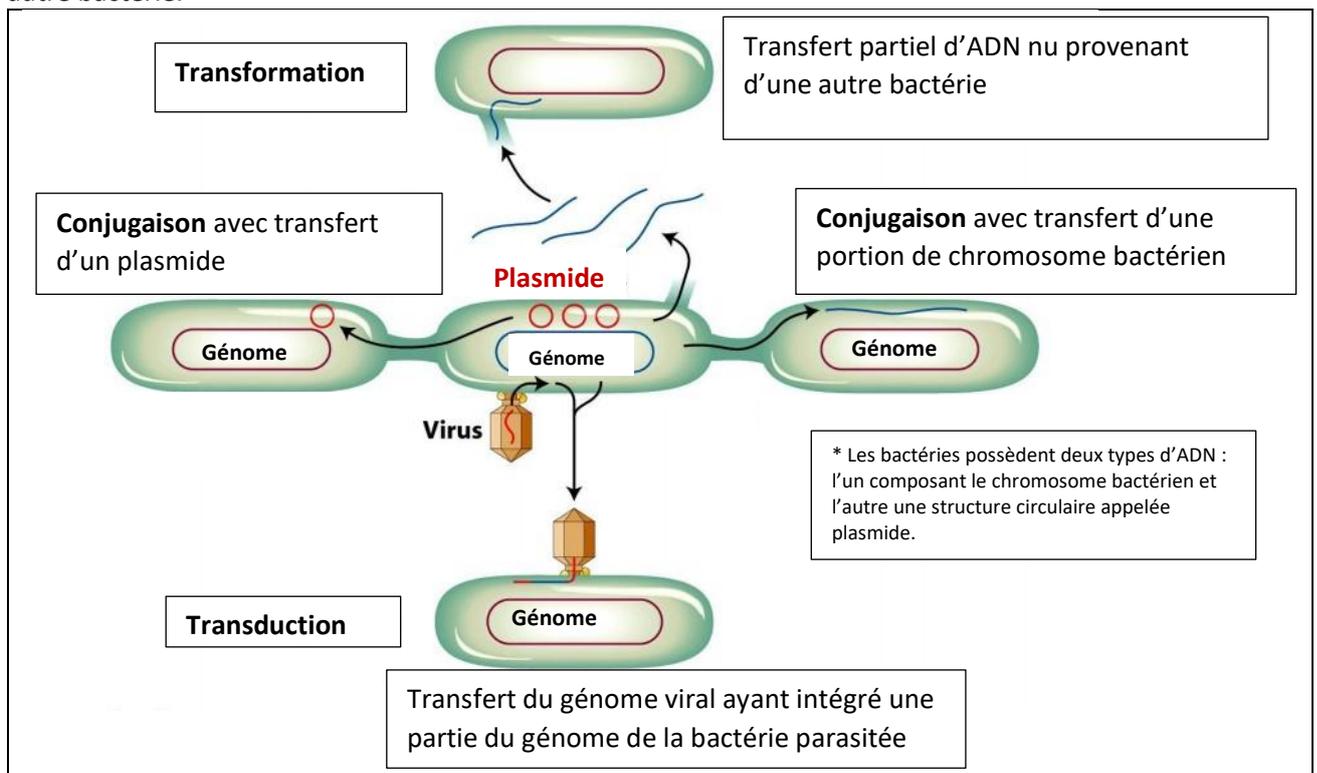
Objectifs de ce chapitre : comprendre que des mécanismes non liés à la reproduction sexuée enrichissent les génomes de tous les êtres vivants.

Quelles sont les modalités des transferts horizontaux de gènes et quelles sont leurs conséquences ?

I Des échanges de matériel génétique

A- Transferts horizontaux de gènes

- Chez les bactéries, les transferts horizontaux de gènes jouent un rôle important dans les mécanismes de diversification de leur génome. Ces échanges de gènes se font par divers mécanismes dont la **conjugaison bactérienne**. Il s'agit d'un échange d'ADN par contact direct. Un autre mécanisme de transfert de gènes se fait par l'intermédiaire d'un **virus** qui transmet l'ADN d'une bactérie à une autre bactérie, le virus servant de vecteur de transfert. Une bactérie peut également intégrer de l'ADN par incorporation d'ADN libre d'une autre bactérie.



Ces transferts horizontaux de gènes sont fréquents chez les bactéries, ces dernières acquérant ainsi rapidement de nouvelles caractéristiques.

- Les bactéries peuvent également transmettre leur ADN à des organismes pluricellulaires complexes comme les plantes ou des animaux (par exemple, un vers nématode du sol digère la cellulose grâce à une enzyme dont le gène est d'origine bactérienne). Les transferts horizontaux existent même entre les

organismes pluricellulaires (par exemple, on a découvert que certains pucerons produisent des caroténoïdes dont la synthèse est possible grâce à des gènes issus de champignons).

Ces transferts s'effectuent donc entre organismes très éloignés d'un point de vue parenté.

- Dans l'espèce humaine, certaines populations possèdent des caractères particuliers issus d'un transfert de gène chez les bactéries du microbiote intestinal et conférant aux individus qui en sont porteurs des capacités de digestion particulières (par exemple, les Japonais, du fait de leurs habitudes alimentaires, mangent fréquemment des algues du genre *Porphyra* utilisées pour fabriquer les sushis. Des bactéries marines du genre *Zobellia* sont présentes sur ces algues. Les Japonais ingèrent ainsi ces bactéries et au fil des générations, les bactéries du microbiote intestinal des Japonais ont acquis un gène, celui de la porphyrase venant de la bactérie *Zobellia*. Ce gène a été transmis à leurs descendants. Ainsi les Japonais possèdent des bactéries digestives équipés de l'enzyme porphyrase qui leur permet de mieux digérer la paroi végétale de l'algue entourant les sushis.
- **L'étude du génome humain a permis également de détecter un certain nombre de gènes issus d'autres organismes par transferts horizontaux.** Certains de ces gènes ont une origine virale (par exemple, le gène d'une protéine, la syncytine qui est indispensable à la formation du placenta, existe chez tous les grands primates ; la comparaison de la séquence de la syncytine et celle d'une protéine d'un virus qui infecte les grands primates montre de très grandes similitudes. On émet l'hypothèse que ce virus a transféré cette capacité à synthétiser cette protéine à l'ancêtre commun des grands primates dont l'espèce humaine fait partie.

Ainsi, le génome des organismes contient des gènes qui ont été hérités par transfert horizontal de gènes. Les principaux arguments utilisés consistent à comparer les séquences en acides aminés des protéines afin de chercher leur lien de parenté. On peut représenter ces liens sous forme d'un arbre phylogénétique afin de construire des phylogénies.

Ces transferts participent à la diversification du vivant et ont des effets importants sur l'évolution des populations et des écosystèmes.

B- Conséquences des transferts horizontaux de gènes en santé humaine

- **Les transferts de gènes d'une bactérie à une autre peuvent conférer à la bactérie receveuse une résistance aux antibiotiques.** Dans ce cas, le gène transféré apporte un avantage sélectif au clone de bactéries issues de la bactérie receveuse. La coexistence entre espèces bactériennes favorise ces transferts : par exemple l'appareil digestif héberge des bactéries (microbiote intestinal) qui peuvent ainsi échanger des gènes de résistance aux antibiotiques, gènes qui peuvent être aussi transférés à des bactéries pathogènes.
- **La connaissance des mécanismes de transferts horizontaux de gènes permet de produire des molécules d'intérêt produites par exemple par des bactéries. La transgénèse est une application biotechnologique de ces mécanismes.** Il s'agit d'un transfert horizontal artificiel de gène.

D'autres types de transferts ont eu lieu au cours de l'histoire évolutive du vivant comme par exemple l'acquisition d'organites assurant des fonctions énergétiques chez les cellules eucaryotes.

Quelle est l'origine des mitochondries et des chloroplastes ?

II Les endosymbioses chez les eucaryotes

A- La théorie symbiotique de l'évolution

Cette théorie postule que des organites des cellules eucaryotes proviennent d'une symbiose entre un organisme procaryote et une autre cellule. La symbiose est une association entre deux organismes vivants, cette association est durable et à bénéfice réciproque pour les deux organismes. **L'endosymbiose est caractérisée par la présence d'un organisme à l'intérieur de cellules hôte, cet organisme est appelé endosymbiote.** Il s'agit donc d'une symbiose particulière pour laquelle les deux organismes sont encore plus étroitement associés.

- **Chez les cellules eucaryotes photosynthétique, le chloroplaste a pour origine une cyanobactérie (bactérie photosynthétique) qui aurait intégré le cytoplasme de cellules hôtes ancestrales.** Ces dernières ont alors acquis la possibilité d'effectuer la photosynthèse et de devenir autotrophes. Différents arguments confortent l'origine bactérienne des chloroplastes : présence d'ADN circulaire dans les chloroplastes comme

chez les bactéries, gène chloroplastique qui code pour des protéines du chloroplaste, présence de ribosomes présentant de fortes similitudes avec des ribosomes bactériens, division des chloroplastes qui suivent un rythme différent de la division de la cellule, présence de deux membranes qui délimitent le chloroplaste dont la membrane interne qui présente une composition en lipides proche de celle de la membrane bactérienne. D'autre part, des séquençages de l'ADN chloroplastique de plusieurs plantes très éloignées d'un point de vue phylogénétique montrent que le génome chloroplastique est très conservé.

- **Les mitochondries proviennent aussi de bactéries.** La mitochondrie possède aussi son propre ADN qui est circulaire comme celui des bactéries ; elle contient aussi des ribosomes qui ressemblent à ceux de certaines bactéries ; la mitochondrie est délimitée aussi par une double membrane. Grâce à la bioinformatique, on a pu montrer une très grande similarité entre les séquences des protéines de la mitochondrie et celles d'espèces bactériennes anciennes. Cette endosymbiose a permis aux cellules hôtes de respirer et d'acquérir un nouveau type de métabolisme hétérotrophe.
- **Cependant, le génome de l'endosymbiote** (par exemple bactérien) **régresse au cours des générations** et certains de ses gènes sont transférés dans le noyau de la cellule hôte. **Ainsi, l'organite qui résulte de l'endosymbiote devient semi-autonome.**

Remarque : la bioinformatique étudie l'information liée aux molécules biologiques (séquences, structures, fonctions, liens de parenté...). La bioinformatique fait intervenir différentes disciplines comme la biochimie et la génétique.

B- Endosymbiose et hérédité cytoplasmique

Les organites comme les chloroplastes ou les mitochondries sont transmis à la descendance et leur ADN est ainsi transmis de façon verticale, c'est-à-dire au cours de la reproduction sexuée. Par exemple, les mitochondries de l'ovocyte restent présentes dans la cellule-œuf. **L'organisme maternel transmet donc son ADN mitochondrial. On parle dans ce cas d'hérédité cytoplasmique.**

Ces mécanismes, qui sont à l'origine non liés à la reproduction sexuée, enrichissent les génomes de tous les êtres vivants.

Lexique référentiel 02 :

Chloroplaste : organite assurant la photosynthèse des cellules végétales (cellules eucaryotes).

Endosymbiose : phénomène d'association entre deux organismes dont l'un est contenu dans l'autre

Eucaryote : organisme unicellulaire ou pluricellulaire possédant des organites (dont le noyau).

Mitochondrie : organite assurant la respiration des cellules eucaryotes.

Organite : compartiment différencié des cellules eucaryotes et assurant une fonction particulière

Photosynthèse : métabolisme énergétique des cellules assurant la production d'énergie chimique à partir d'énergie lumineuse

Phylogénie : étude des liens de parenté.

Respiration cellulaire : métabolisme énergétique des cellules assurant la production d'énergie chimique à partir de l'énergie chimique de molécules organiques.

Symbiose : association à bénéfice réciproque entre deux organismes

Symbiote : organisme en symbiose avec un autre organisme

Capacités et attitudes attendues pour ce chapitre :

- étudier des expériences historiques mettant en évidence la transformation bactérienne.

- comprendre comment la connaissance des mécanismes des transferts horizontaux permet des applications biotechnologiques (notamment la production de molécules d'intérêt dans les lignées bactériennes).

- recenser des informations attestant l'existence de transferts horizontaux de gènes dans l'histoire du génome humain.

- Extraire et organiser des informations d'un arbre phylogénétique pour identifier l'importance des transferts horizontaux.

- Mettre en œuvre une méthode permettant de comprendre les arguments qui ont conduit à considérer que les organites énergétiques sont issus de symbiose dans la lignée des eucaryotes.

Références :