

Leçon 5 : la complexification des génomes

II. Les transferts horizontaux chez les eucaryotes :

Grâce au séquençage de l'ADN et à la comparaison des protéines de nombreux êtres vivants, nous avons pu mettre en évidence des preuves de l'existence de transferts horizontaux fréquents chez les eucaryotes.

Nous avons des exemples de transferts horizontaux entre eucaryotes. C'est le cas des pucerons au phénotype rouge qui sont capables, contrairement aux autres animaux, de synthétiser des pigments appelés caroténoïdes. Les gènes nécessaires à cette synthèse que possèdent les pucerons sont très proches de ceux utilisés par des champignons. On estime que ce transfert a dû se produire grâce à un vecteur viral.

Nous avons aussi des exemples de transferts horizontaux entre procaryotes et eucaryotes et même entre virus et eucaryotes dont les Primates. C'est le cas d'au moins une protéine nécessaire à la formation du placenta appelée syncytine 1 qui est plus proche d'une protéine virale que d'une autre protéine nécessaire à la formation de ce placenta. En comparant la séquence de cette protéine avec celle d'autres Primates, on a pu montrer que c'est l'ancêtre commun aux grands Primates qui a dû intégrer le gène de cette protéine dans son propre génome suite à une infection virale.

Si on se focalise sur l'Homme, nous savons aujourd'hui que près de 10% de notre génome est d'origine virale et que nous avons aussi des gènes issus de bactéries, de végétaux, de champignons, de protistes (eucaryotes unicellulaires) ou d'archées (procaryotes). A noter que chez les pluricellulaires, pour que les gènes obtenus par transfert horizontal soient ensuite transmis de manière verticale à la descendance, il faut que les vecteurs viraux aient contaminé les cellules germinales.

CONCLUSION : Les transferts horizontaux chez les eucaryotes sont une réalité. Ils sont très fréquents et ont une grande influence sur l'évolution des populations car ils peuvent représenter une part très importante du génome d'un individu. Il est bien évident que c'est l'universalité de l'ADN et l'unicité de sa structure dans le monde vivant qui autorise ces échanges génétiques entre organismes non nécessairement apparentés.

III. Les endosymbioses :

De nombreux arguments plaident en faveur d'une origine procaryote des mitochondries et des chloroplastes. Ils possèdent une double membrane ce qui s'expliquerait par la présence d'une membrane de phagocytose autour de la membrane originelle. La composition de la membrane interne comprend des lipides inconnus dans les membranes des eucaryotes mais connus dans les membranes des bactéries. Ces organites possèdent du matériel génétique sous forme d'ADN et des ribosomes propres qui ont la même structure que ceux des bactéries. Ils réalisent leur propre transcription et leur propre traduction en simultané comme les bactéries car il n'y a pas de noyau. Ils se multiplient suivant un processus qui ressemble à une mitose bactérienne.

A ces arguments sont venus s'ajouter des données génétiques quand on a été capable de séquencer et de comparer l'ADN de ces organites et celui d'autres êtres vivants. On a en particulier utilisé les gènes qui codent pour les ARN constitutifs des ribosomes. Les études phylogénétiques ont montré que les mitochondries sont très proches de protéobactéries alors que les chloroplastes sont proches de cyanobactéries. Ces organites dérivent donc d'anciens procaryotes qui ont été intégrés dans des cellules eucaryotes primitives selon le scénario suivant :

- 1) Il y a presque 2 Ga, des cellules procaryotes invaginent une partie de leur membrane plasmique pour constituer la membrane nucléaire et donc le noyau autour de leur ADN. Le premier eucaryote était né.
- 2) Endocytose par cet eucaryote d'un procaryote hétérotrophe qui évolue en mitochondrie. La cellule animale ou fongique était née.

3) Certains de ces nouveaux eucaryotes finissent par endocyter un procaryote autotrophe qui évolue en chloroplaste. La cellule végétale était née.

Ce scénario simplifié est en réalité bien plus complexe et varié car de nombreux êtres vivants unicellulaires eucaryotes sont issus d'endosymbioses avec des types différents de procaryotes en particulier autotrophes.

Si les chloroplastes et les mitochondries ont pour origine des procaryotes ce ne sont plus des procaryotes. En effet, leur génome est très réduit en nombre de nucléotides et en gènes. On parle de régression génétique. C'est ce phénomène qui explique que lorsqu'on réalise une chromatographie des pigments d'une cyanobactérie (spiruline) et qu'on la compare avec celle d'une feuille d'épinard, on n'obtient pas exactement les mêmes résultats malgré des similitudes. En effet, les pigments contenus dans la spiruline sont des phycoérythrine, la chlorophylle A, des xanthophylles, la phéophytine et le carotène alors que pour l'épinard on a la chlorophylle A, la chlorophylle B, les xanthophylles et le carotène. Des gènes procaryotes nécessaires à la synthèse de certains de ces pigments ont été perdus au cours de l'évolution quand d'autres sont apparus. A noter que les pigments communs aux cyanobactéries et aux végétaux supérieurs sont un argument de plus en faveur de l'endosymbiose.

Cependant, tous les gènes procaryotes qui n'apparaissent plus dans le génome des organites ne sont pas forcément perdus car certains ont été intégrés au génome nucléaire de la cellule hôte. Ceci équivaut à un transfert horizontal de gènes et donc à un enrichissement du génome de l'hôte. Il existe un exemple actuel qui illustre ce phénomène. C'est celui d'une limace des mers, *Elysia chlorotica* qui est un des rares animaux à réaliser la photosynthèse. A sa naissance cette limace est dépourvue de chloroplastes. Elle les récupère dans son alimentation, une algue du nom de *Vaucheria*, et les intègre à ses propres cellules. Il y a donc un équivalent d'endosymbiose. Cependant la chlorophylle des chloroplastes doit être renouvelée sans cesse. Pour cela un gène est nécessaire c'est PSBO qui est situé dans le génome nucléaire des végétaux chlorophylliens. Ce gène se rencontre aussi dans le génome d'*Elysia* dès la naissance avant son repas d'algues. Il y a donc eu par le passé un transfert horizontal de ce gène qui a permis ensuite à *Elysia* de devenir autotrophe en endocytant des chloroplastes.

Un autre exemple est celui qui concerne les gènes de l'enzyme RUBISCO. Cette enzyme est nécessaire à l'incorporation du dioxyde de carbone dans les molécules organique lors de la photosynthèse. Or, 2 gènes sont nécessaires pour coder cette enzyme :

- Un gène qui code pour la chaîne légère de l'enzyme situé dans l'ADN nucléaire des végétaux supérieurs.
- Un gène qui code pour la chaîne lourde de l'enzyme situé dans l'ADN chloroplastique.

Ainsi, un des deux gènes nécessaires à la synthèse de la RUBISCO a migré par transfert horizontal entre le génome de la cyanobactérie à l'origine du chloroplaste mais pas le second gène. A noter aussi que la forte similitude entre les 2 gènes de la RUBISCO des végétaux supérieurs et ceux des cyanobactéries plaide en faveur de l'endosymbiose comme origine des chloroplastes.

CONCLUSION : Les chloroplastes et les mitochondries, organites typiques des eucaryotes, dérivent d'anciens procaryotes qui ont été endocytés par des cellules eucaryotes primitives. Ces endosymbioses, confirmées par des analyses génétiques, ont donc joué et jouent encore un rôle important dans l'histoire des eucaryotes en particulier en diversifiant leur métabolisme. Puisque ces organites disposent de leur propre matériel génétique, ils participent à notre hérédité : on parle d'hérédité cytoplasmique.

NB : lors de la fécondation, seules les mitochondries contenues dans l'ovocyte sont transmises au zygote. L'hérédité cytoplasmique est donc maternelle.

BILAN : Il existe des mécanismes qui, en dehors de la reproduction sexuée, enrichissent le génome de tous les êtres vivants et ont une importance évolutive capitale : les transferts horizontaux de gènes et les endosymbioses. Il en résulte une complexification des génomes.