

Transferts horizontaux de gènes et endosymbioses :

(Bordas, Ed.2020, p.74-75 et 77, Belin p.67, Nathan, p.70, Hachette p.53))

Les mutations, les modifications accidentelles des génomes et le brassage génétique réalisé par la reproduction sexuée assurent à chaque génération l'émergence de nouveaux génomes individuels. Il existe encore d'autres processus de diversification et de complexification des génomes.

I/ Les transferts horizontaux de gènes :

1°) Des expériences historiques :

Les pneumocoques de souche S sont des bactéries virulentes (responsables de pneumonies) car, dotées d'une capsule, elles ne sont pas détruites par le système immunitaire. Les pneumocoques de la souche R, dépourvues de capsule, ne sont pas pathogènes.

En 1928, le microbiologiste anglais F. Griffith fait une découverte surprenante : l'injection simultanée à des souris de bactéries R vivantes et de bactéries S tuées se révèle mortelle. Les souris meurent et de nombreux pneumocoques pourvus de capsules, donc de souche S, sont identifiés chez les souris. Il y a eu transfert d'un caractère héréditaire des bactéries S mortes aux bactéries R vivantes.

En 1944, les expériences d'Avery, McLeod et McCarty ont démontré que c'est de l'ADN qui est transféré des bactéries S aux bactéries R. Les bactéries R ont subi une « transformation » par intégration à leur génome d'un fragment d'ADN provenant des bactéries S. La transformation s'est faite grâce à **un transfert horizontal** de gènes, c'est-à-dire un transfert d'un organisme à un autre non lié à **la reproduction**.

2°) Des transferts par divers processus:

Quand des bactéries sont détruites, elles libèrent des quantités considérables d'ADN dans leur environnement. Dans certaines conditions, ces fragments d'ADN libres, pouvant contenir plusieurs gènes, sont intégrés par des bactéries. Ce processus, appelé **transformation**, s'observe toutefois chez un nombre limité d'espèces, présentes notamment dans le sol et les écosystèmes aquatiques.

Les bactéries possèdent de petites molécules d'ADN généralement circulaires, appelées **plasmides**. Ces plasmides sont très facilement transférés entre bactéries de la même espèce ou d'espèces différentes, grâce à l'établissement de « ponts cytoplasmiques »: ce phénomène est appelé **conjugaison**. Les plasmides bactériens peuvent aussi être transférés à des cellules eucaryotes.

Les **virus** constituent les **vecteurs de gènes** les plus abondants de la planète. En parasitant des cellules (bactéries ou cellules eucaryotes), ils y transfèrent leurs gènes, qui peuvent parfois s'intégrer au génome de la cellule hôte.

Les particules virales fabriquées par les cellules parasitées peuvent également incorporer des gènes appartenant aux cellules hôtes. Ces gènes pourront être transférés à d'autres cellules au cours d'une infection ultérieure.

3°) Un rôle majeur dans l'évolution :

La comparaison de séquences d'ADN d'espèces différentes permet de construire des arbres de parenté ou arbres phylogénétiques :

En effet, des similitudes génétiques traduisent généralement un héritage commun plus ou moins récent, transmis ensuite de générations en générations. On parle dans ce cas de transferts verticaux des gènes.

Mais il arrive que l'on identifie pour un gène particulier une similitude étonnante entre espèces éloignées. Dans ce cas, la proximité génétique ainsi révélée ne traduit pas une filiation entre les espèces concernées, mais résulte d'un transfert horizontal de gène. En effet, du fait de l'universalité de l'ADN, des transferts horizontaux de gènes sont possibles entre espèces parfois très éloignées dans l'arbre du vivant (animaux, bactéries, archéens, protistes, plantes, champignons...).

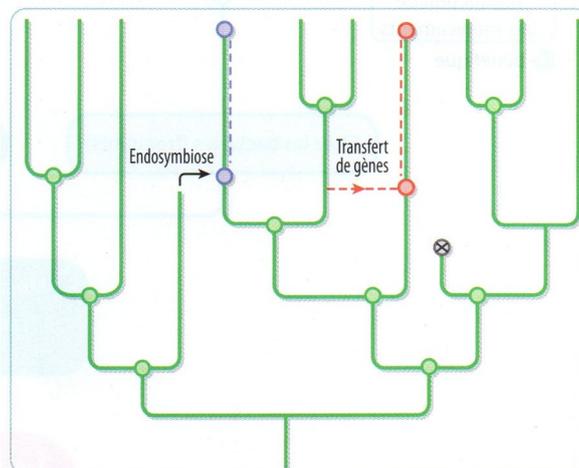
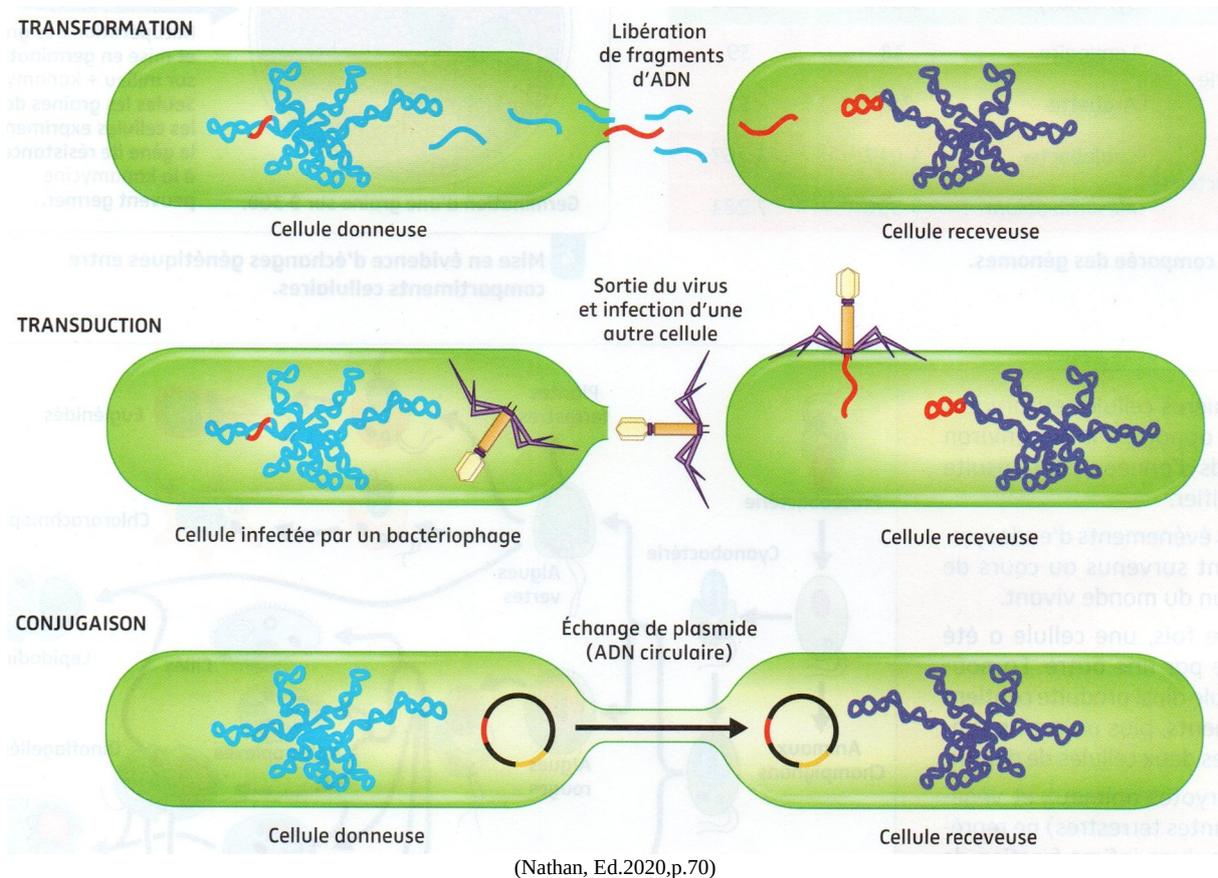
Ainsi, il a été établi que l'ADN humain contient près de 10 % de gènes d'origine virale. Les transferts horizontaux de gènes constituent une source de diversification des êtres vivants, permettant une adaptation rapide aux variations de l'environnement. Ils ont joué un rôle important dans l'évolution des populations et des espèces. Si l'on fait figurer sur un arbre phylogénétique les transferts horizontaux, on obtient un « **réseau phylogénétique** » qui traduit la complexité de l'histoire évolutive du vivant.

4°) Transferts horizontaux de gènes et santé humaine :

Au sein des populations bactériennes, les transferts horizontaux par le biais des plasmides constituent le principal mécanisme de la propagation rapide de gènes de virulence et de gènes de résistance aux antibiotiques.

Ces transferts sont favorisés par l'abondance des bactéries dans notre environnement proche, notamment au sein des microbiotes. Leur fréquence pose de graves problèmes de santé, dus à l'apparition et à la sélection de **bactéries résistantes**, voire multirésistantes, à un antibiotique.

Des applications **biotechnologiques** résultent de la connaissance des mécanismes de transferts horizontaux de gènes. L'intégration et l'expression de gènes humains dans des micro-organismes à forte capacité de multiplication (bactéries et levures) permet la production massive de **molécules d'intérêt** utiles à la santé humaine (insuline par exemple).



Exemple de réseau phylogénétique

Les lignées violette et rouge possèdent des gènes d'origines différentes.

(Hachette, Ed.2020,p.53)

II/ Les endosymbioses, une diversification par fusion entre organismes :

1°) L'endosymbiose, une association étroite entre êtres vivants :

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

Au sein des cellules de l'hôte, l'endosymbiote est internalisé dans une vésicule cytoplasmique et subit souvent une régression de certains de ses caractères (perte de paroi, de flagelle). Dans la plupart des cas, l'endosymbiote apporte à son hôte des avantages d'ordre nutritionnel (molécules organiques issues de la photosynthèse, vitamines, acides aminés essentiels...) Réciproquement, l'organisme hôte procure à l'endosymbiote un milieu stable et protégé, et parfois certains nutriments. Il y a ainsi, pour les deux organismes, acquisition de nouvelles potentialités permettant une meilleure adaptation aux ressources et contraintes du milieu.

L'association impose cependant des contraintes aux deux partenaires, nécessaires pour conserver leurs propriétés spécifiques. Par exemple, la récupération de l'énergie lumineuse par l'algue contraint le polype à vivre dans des eaux claires à faible profondeur et à produire des molécules antioxydantes pour se protéger du dioxygène rejeté en excès par la photosynthèse.

L'endosymbiose associe les génomes des deux partenaires au sein d'une même cellule. Souvent, celui de l'endosymbiote régresse, cette régression s'accompagnant d'un transfert de gènes vers le noyau de la cellule hôte, facilité par l'extrême proximité des partenaires. Ce transfert contribue à la complexification du génome de la cellule hôte qui se trouve enrichi de nouvelles potentialités.

2°) L'origine endosymbiotique des organites :

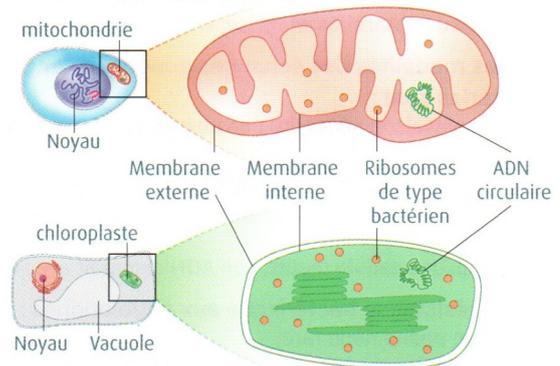
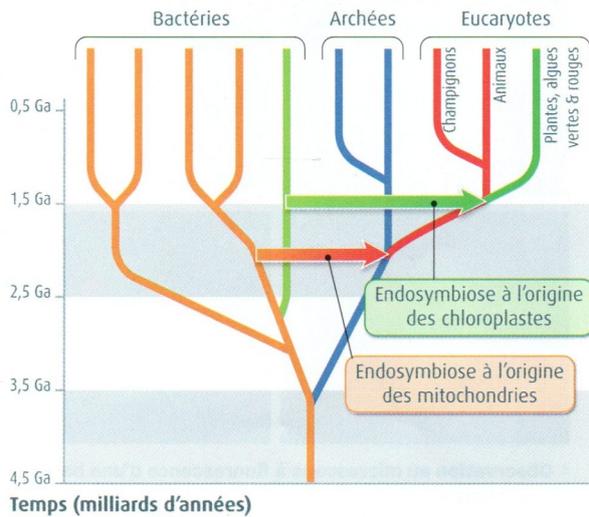
À partir de la fin du XIX^e siècle, des botanistes ont suggéré l'idée que les chloroplastes et les mitochondries des cellules eucaryotes provenaient de l'endosymbiose de bactéries. Largement ignorée jusqu'aux années 1960, cette idée a été reprise et défendue sous le nom de « théorie endosymbiotique » par Lynn Margulis.

Cette hypothèse a d'abord été étayée par de nombreuses ressemblances entre les organites et les bactéries :

- La taille des mitochondries et des chloroplastes est comparable à celle des bactéries (quelques µm).
- Ces deux organites sont dotés d'une double membrane. Une membrane externe analogue à la membrane plasmique (résultat de l'endocytose) et une membrane interne présentant des analogies avec la membrane bactérienne. Le système de membrane interne des cyanobactéries renferme, tout comme les thylakoïdes des chloroplastes, des pigments chlorophylliens assurant la capture d'énergie lumineuse et la réalisation de la photosynthèse.
- Mitochondries et chloroplastes renferment de petites molécules d'ADN nu, comme chez les bactéries. Cet ADN se réplique indépendamment de l'ADN nucléaire, et commande la synthèse de protéines fabriquées dans les organites grâce à des ribosomes de type bactérien.
- Chloroplastes et mitochondries se divisent par étranglement médian après avoir dupliqué leur ADN, comme le font les bactéries.

La comparaison des génomes a confirmé l'hypothèse de l'origine endosymbiotique des organites : l'ADN mitochondrial et chloroplastique est en effet plus étroitement apparenté à celui des bactéries et des cyanobactéries qu'à celui de l'ADN nucléaire des cellules eucaryotes. Il y a environ 1,5 à 2 milliards d'années, des cellules eucaryotes primitives ont donc absorbé par endocytose des bactéries aérobies pratiquant la respiration, qui sont devenues des mitochondries. Ce phénomène s'est également produit à plusieurs reprises avec l'absorption de cyanobactéries photosynthétiques, à l'origine des chloroplastes. Capables de divisions autonomes, les mitochondries et chloroplastes, dotés de leur propre information génétique, sont transmises aux cellules filles : on parle d'hérédité cytoplasmique.

Des endosymbioses à l'origine des mitochondries et des chloroplastes

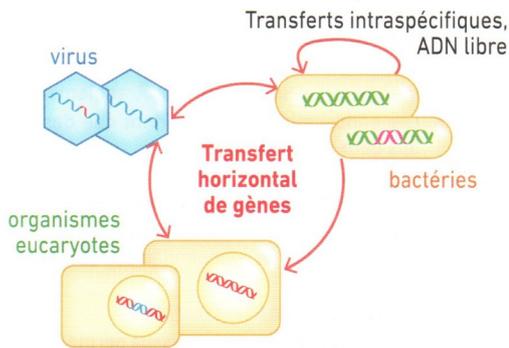


Origine bactérienne des mitochondries et des chloroplastes

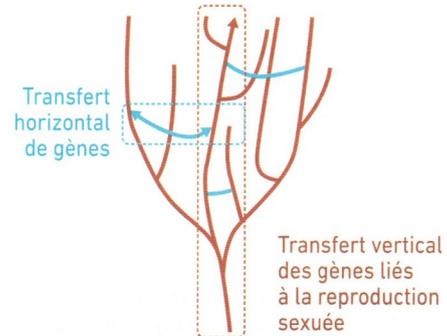
(Belin, Ed.2020, p.67)

Les échanges de gènes par transfert horizontal

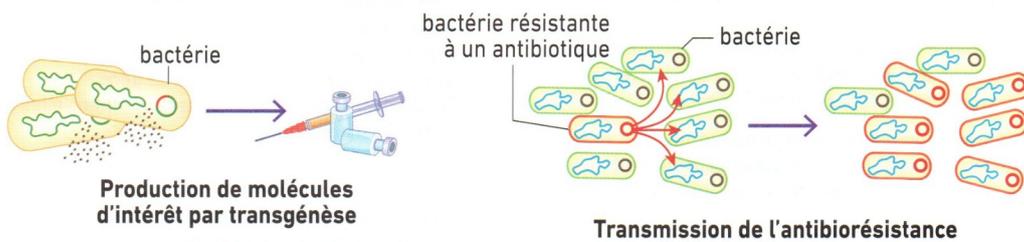
Des mécanismes non liés à la reproduction sexuée



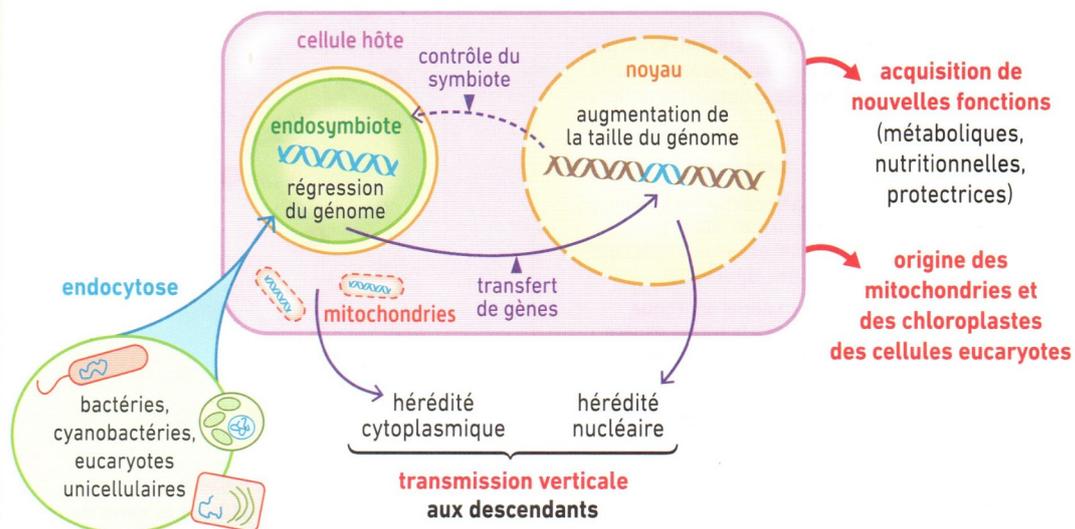
Un rôle important dans l'évolution



Des conséquences sur la santé humaine



L'enrichissement des génomes par endosymbiose



(Bordas, Ed.2020, p.77)