

La complexification des génomes: transferts horizontaux et endosymbioses

Des transferts horizontaux chez les bactéries.

[Lien vers l'activité](#)

Expériences de Griffith.

Les trois premières expériences sont des expériences témoins :

La première expérience montre que les pneumocoques S vivants sont virulents (ils provoquent la mort des souris). Par ailleurs, ils se multiplient et survivent dans l'organisme puisqu'ils sont très nombreux dans le sang des souris mortes en fin d'expérience.

La deuxième expérience montre que les pneumocoques R vivants ne sont pas virulents. Ils ne provoquent pas la mort des souris et ne se multiplient pas. Il semble que le système immunitaire des souris les élimine.

La troisième expérience montre que les pneumocoques S tués ne sont plus virulents et ne se multiplient plus.

Dans la quatrième expérience, Griffith met en présence deux souches de pneumocoques dont les expériences témoins montrent qu'ils ne sont pas virulents : les pneumocoques R vivants et les pneumocoques S tués. On observe que l'association de ces deux types de bactéries provoque la mort des souris et l'analyse du sang montre que des pneumocoques S vivants s'y sont développés.

On en déduit que les pneumocoques R sont devenus virulents au contact des pneumocoques S tués. Les pneumocoques S tués apportent donc un « facteur transformant » permettant aux pneumocoques R, normalement non virulents de devenir virulents.

Expériences d'Avery & MacLeod.

Les expériences d'Avery et MacLeod visent à caractériser la nature biochimique du facteur transformant mis en évidence par Griffith. Les auteurs reprennent la quatrième expérience de Griffith et réalisent trois catégories d'expériences à partir des extraits de pneumocoques S tués. Ils traitent ces extraits de façon à détruire spécifiquement soit les protéines, soit l'ADN, soit l'ARN. Dans un second temps, ils mettent en contact ces extraits privés d'une des trois catégories de molécules avec des pneumocoques R vivants.

On observe que seule la destruction de l'ADN permet d'empêcher la transformation des pneumocoques R vivants en pneumocoques S. Cela suggère que l'ADN est le support d'une information permettant la transformation des pneumocoques R en S : c'est le facteur transformant de Griffith.

Différents types de transferts de gènes.

Il existe trois types de transferts de gènes chez les bactéries :

- La transformation : de l'ADN présent dans le milieu provenant de bactéries mortes est intégré par une bactérie receveuse dans son génome.
- Le transfert viral : de l'ADN d'une bactérie prélevé par un virus (phage) est transmis à une autre bactérie lors de son infection par le virus.
- La conjugaison : de l'ADN est échangé directement via un pont entre les deux bactéries.

Dans les expériences de Griffith et d'Avery, les pneumocoques R sont transformés en pneumocoques S en présence de pneumocoques S tués. C'est donc probablement l'ADN des pneumocoques S tués qui est incorporé aux pneumocoques R et réalise leur transformation. Il s'agit donc d'une transformation bactérienne.

Rôle des transferts génétiques horizontaux dans le cas de la résistance aux antibiotiques d'*A. baumannii*.

On observe qu'*Acinetobacter baumannii* est une bactérie capable de lyser (détruire) d'autres bactéries. En tuant ses bactéries, elle libère dans l'environnement leur ADN. Elle peut donc par transformation intégrer de l'ADN des bactéries qu'elle a lysées.

L'expérience du document 5 montre qu'*Acinetobacter baumannii* est capable d'acquérir la résistance à la kanamycine portée par *E. coli* à la suite de 19 heures de co-culture. Les expériences 1 et 2 représentent des témoins négatifs. Par ailleurs, on constate qu'il y a une baisse du nombre de bactéries *Escherichia coli* ce qui suggère qu'elles sont tuées par *Acinetobacter baumannii*.

On peut donc en déduire que cette bactérie est capable d'acquérir des résistances aux antibiotiques possédées par les bactéries qu'elle a tuées. Cette acquisition se fait par intégration de leur ADN (transformation).

Ces expériences fournissent une explication aux multi-résistances aux antibiotiques fréquemment observées chez *Acinetobacter baumannii*.

Attention: de nombreuses bactéries acquièrent une résistance aux antibiotiques par le biais de la conjugaison bactérienne permettant l'échange de plasmide (petits morceaux d'ADN circulaires) contenant des gènes de résistance aux antibiotiques.

La transgénèse: un transfert génétique horizontal particulier.

La transgénèse est l'action d'introduire un gène étranger (transgène ou gène d'intérêt prélevé chez une espèce donneuse) et de l'introduire dans le génome d'une espèce receveuse de manière à ce que l'espèce receveuse exprime (transcrive et traduise) le gène d'intérêt, conférant ainsi un nouveau caractère à l'espèce receveuse.

La transgénèse a de nombreuses applications: thérapeutique (fabrication de médicaments), agro-alimentaire (augmentation des rendements, résistances aux pathogènes ou aux herbicides), recherche fondamentale...

Dans l'exemple présenté, le but est thérapeutique: cette transgénèse permet de produire à moindre coût et en grande quantité de l'insuline humaine destinée aux individus diabétiques insulino-dépendants (diabète de type 1):

- L'espèce donneuse est l'humain.
- Le gène d'intérêt est le gène humain codant pour l'insuline humaine.
- L'espèce receveuse est la bactérie *Escherichia coli*.

Techniquement, le gène d'intérêt a été extrait, isolé et multiplié depuis des cellules humaines, puis les copies du gène d'intérêt sont insérées dans des plasmides bactériens utilisés ensuite pour transformer des bactéries *E.coli* qui expriment alors le gène d'intérêt permettant ainsi la production d'insuline humaine.

L'action humaine mime donc un phénomène existant naturellement (la transformation), à la différence près que les séquences génétiques à insérer sont spécifiquement choisies pour leur fonction (ici la production d'insuline) et l'organisme transformé cultivé dans des conditions favorisant l'expression du gène d'intérêt.

Conclusion.

Les documents montrent donc l'existence de transfert d'ADN entre bactéries de la même génération. Ces transferts sont appelés transferts génétiques horizontaux. Les informations portées par ces ADN peuvent toucher à la virulence des bactéries (cas des pneumocoques), à leur résistance aux antibiotiques (cas d'*Acinetobacter baumannii*) ou à des manipulations biotechnologiques (transgénèse) réalisées au laboratoire (production de l'insuline humaine par *Escherichia coli*). Ces transferts génétiques horizontaux peuvent prendre des formes variées : transformation, transfert viral, conjugaison.

Des transferts horizontaux fréquents dans l'arbre du vivant.

[Lien vers l'activité](#)

Exemple de la syncytine.

La syncytine est une protéine membranaire que l'on trouve chez de nombreux vertébrés qui permet la fusion des membranes à l'origine de la formation du placenta (syncytium cellulaire). Chez les virus MPMV, la syncytine est une protéine membranaire qui permet au virus de fusionner avec la membrane plasmique de ses cellules cibles. La syncytine des vertébrés et la syncytine virale ont donc la même fonction.

La comparaison des séquences peptidiques de la syncytine des vertébrés et de la syncytine virale révèle un taux de similitudes important (80%), cela ne peut être dû au hasard, les syncytines des vertébrés et virales auraient donc une origine commune.

De plus, lors d'une infection virale, le virus intègre son génome dans celui de sa cellule cible, ce qui suggère que le gène de la syncytine virale aurait ainsi pu être intégré dans le génome d'un vertébré, il s'agirait donc d'un transfert horizontal. (Ce transfert ne peut être héréditaire que si il affecte une cellule germinale)

On observe que des vertébrés appartenant à des groupes très différents (éloignés phylogénétiquement) possèdent des syncytines apparentées. Cela suggère deux hypothèses:

Un seul événement de transfert horizontal entre un virus MPMV et l'ancêtre commun aux vertébrés possédant une syncytine; puis perte de ce gène chez les vertébrés ne possédant plus de syncytine.

Plusieurs événements de transferts horizontaux entre des virus MPMV et les différentes lignées de vertébrés possédant une syncytine (hypothèse présentée sur le document 5)

Exemple des pucerons.

La couleur chez le puceron vert du pois est due à des pigments caroténoïdes. Les enzymes nécessaires à la synthèse de ces pigments sont apparentées à celles de champignons (leur séquence est proche des enzymes similaires que l'on observe chez les champignons du genre *Mucor*). Ceci suggère qu'il y a eu un transfert génétique horizontal des gènes à l'origine de ces enzymes depuis les champignons vers les pucerons. L'expression de ces gènes permet la production des pigments et serait à l'origine des différentes couleurs des pucerons.

Si une couleur donnée des pucerons favorisait leur prédation (désavantage sélectif) dans un milieu donné, la fréquence des individus portant cette couleur (et le gène la gouvernant) diminuerait au cours des générations dans le milieu considéré. À l'inverse, si une couleur donnée des pucerons les protégeait de leur prédateur (avantage sélectif) dans un milieu donné, les individus portant cette couleur (et le gène la gouvernant) seraient sélectionnés et leur fréquence augmenterait au cours des générations dans le milieu considéré. Or les différentes couleurs se maintiennent au sein des populations.

On observe que selon leur couleur, les pucerons font en fait l'objet d'une prédation différentielle. Cette différence de pression de prédation selon la couleur pourrait expliquer le polymorphisme de couleur observé chez les pucerons et son maintien.

Conclusion.

À travers l'exemple du virus MPMV, on constate que l'interaction parasitaire de celui-ci avec de nombreux vertébrés a pu mener ponctuellement à l'acquisition du gène de la syncytine chez quelques-uns d'entre eux. La protéine issue de ce gène, la syncytine, responsable de la fusion de l'enveloppe du virus et des membranes cellulaires, permet également la fusion des cellules par leurs membranes plasmiques, à l'origine des placentas de certains mammifères (dont les humains), et du lézard mabuya.

De la même façon, les pucerons du pois ont pu acquérir, au contact des champignons, les gènes permettant la synthèse de pigments caroténoïdes leur donnant une couleur rose. Cette couleur (et les gènes associés) a été sélectionnée car elle permet de réduire l'impact de la prédation par les coccinelles.

Les transferts horizontaux de gènes créent donc de la diversité génétique (modification des génomes: acquisition de nouveaux gènes) et de la diversité phénotypique (acquisition de nouveaux caractères).

L'origine endosymbiotique des chloroplastes et des mitochondries.

[Lien vers l'activité](#)

Arguments soutenant une origine bactérienne des chloroplastes et des mitochondries:

Les mitochondries se divisent comme des bactéries de façon indépendante de la cellule eucaryote qui les contient.

Les mitochondries et les chloroplastes possèdent deux membranes, ce qui suggère que la membrane externe est une membrane de la cellule eucaryote entourant la bactérie.

Les chloroplastes et les mitochondries ont le même ordre de taille que les bactéries.

Les membranes des mitochondries et des chloroplastes possèdent des lipides typiquement bactériens.

La transcription et la traduction des gènes sont simultanées comme chez les bactéries.

Les mitochondries et les chloroplastes ont leur propre génome sous forme d'ADN et leurs propres ribosomes.

Les ribosomes des mitochondries et des chloroplastes sont de type bactérien.

Les séquences génétiques des mitochondries et des chloroplastes sont apparentées à celle des bactéries.

Des modifications du génome induites par l'endosymbiose:

Un eucaryote possède son génome sous forme d'ADN contenu dans le noyau (génome nucléaire) et de l'ADN contenu dans les mitochondries (génome mitochondrial). Les végétaux, qui possèdent en plus des chloroplastes, ont un troisième génome : le génome chloroplastique.

Le maïs possède trois génomes : un génome nucléaire, un génome mitochondrial et un génome chloroplastique. On constate que le génome nucléaire est localisé dans l'arbre du vivant avec les eucaryotes (il leur est donc apparenté), tandis que les génomes mitochondrial et chloroplastique sont apparentés aux génomes bactériens.

L'explication la plus parcimonieuse consiste à considérer que les génomes de ces organites ont une origine bactérienne et par conséquent les organites eux-mêmes ont une origine bactérienne. On peut donc supposer que le génome nucléaire est hérité par transfert vertical (reproduction sexuée ou asexuée) tandis que les génomes des organites ont été hérités par transfert génétique horizontal (endosymbiose) chez un ancêtre commun aux eucaryotes puis transmis par reproduction sexuée ou asexuée.

Depuis l'acquisition des chloroplastes, le noyau des eucaryotes a acquis un grand nombre des gènes (1400) initialement possédés par la cyanobactérie ancestrale (ayant subi l'endosymbiose) tandis que le chloroplaste n'a gardé qu'environ 87 gènes. Ces gènes intégrés au génome nucléaire chez l'arabette des dames ainsi que d'autres gènes nucléaires sont à l'origine de 2300 protéines qui seront importées par le chloroplaste.

On constate donc qu'il existe de nombreux transferts de gènes du génome des organites vers le génome nucléaire. Le génome restant dans les chloroplastes est donc très éloigné de celui de la cyanobactérie ancestrale qui a subi l'endosymbiose.

Conclusion:

Il existe aujourd'hui de très nombreux arguments permettant de confirmer la théorie endosymbiotique formulée par A. Schimper et L. Margulis. On peut considérer le scénario suivant : une α -protéobactérie a été intégrée dans le cytoplasme de l'ancêtre des eucaryotes ; elle est restée entourée d'une membrane (ce qui explique la double membrane des mitochondries) ; elle a par la suite perdu une partie de ces gènes au profit du génome nucléaire de la cellule hôte. Elle est alors devenue une mitochondrie, c'est-à-dire un organite gardant quelques caractères bactériens (génome, ribosomes, transcription traduction...).

Un scénario similaire peut être imaginé pour les cellules eucaryotes à l'origine des organismes photosynthétiques : une cyanobactérie a été intégrée dans le cytoplasme de l'ancêtre de ces organismes, elle a gardé une seconde membrane, ses caractéristiques bactériennes et perdu de nombreux gènes (transférés au génome nucléaire). Ces cyanobactéries sont devenues des chloroplastes chez les végétaux.