

# THÈME : GÉNÉTIQUE ET ÉVOLUTION


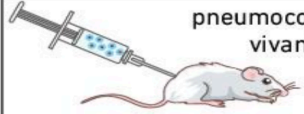



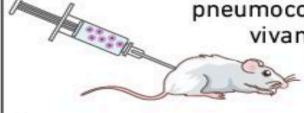


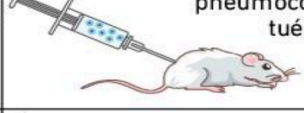



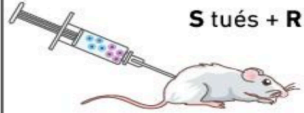




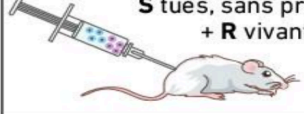




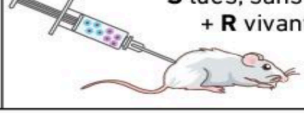

## Chapitre : La complexification des génomes

Les individus d'une même espèce sont produits, de génération en génération, par la méiose et la fécondation (reproduction sexuée). Ces processus permettent des transferts verticaux de gènes (des parents vers les descendants). Néanmoins, au cours de l'évolution, les génomes subissent des transformations plus profondes qui génèrent de la diversification génétique.

**Problématique : Comment s'enrichissent les génomes en dehors de la reproduction sexuée ?**

### I. Les Transferts Horizontaux de Gènes, une diversification par acquisition de gènes

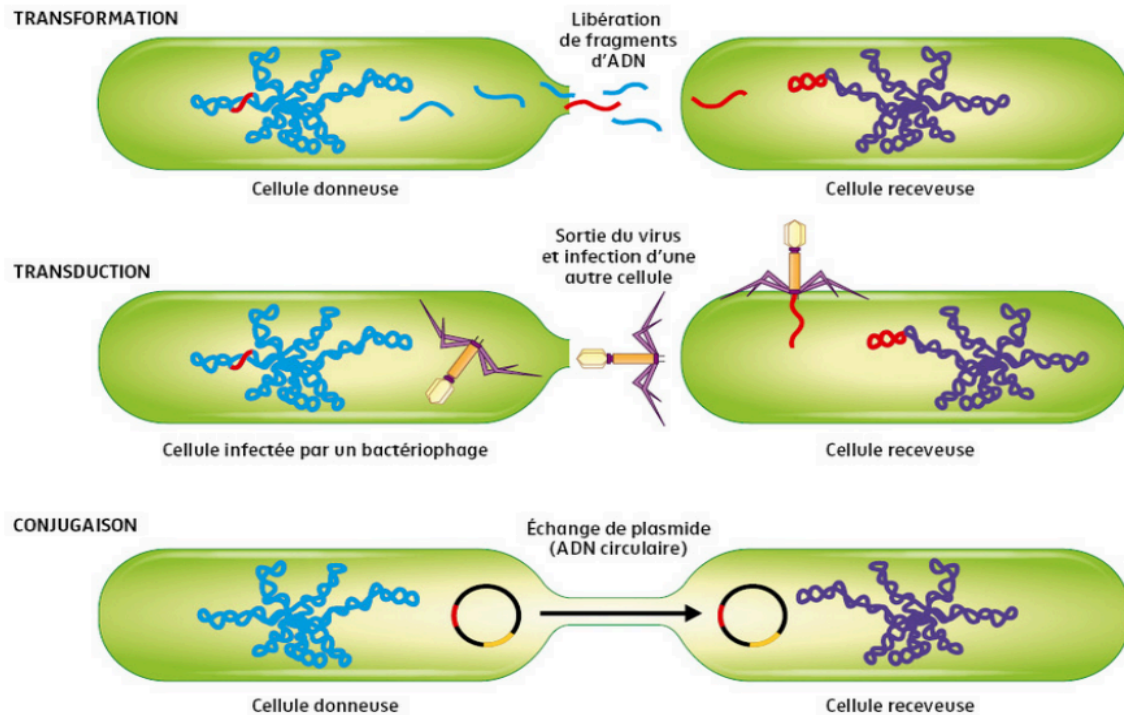
#### A) Les différents mécanismes de transferts horizontaux de gènes

	Expériences		Résultats	
1	souche S 	pneumocoques S vivants 	mort de la souris 	 nombreux pneumocoques S vivants
2	souche R 	pneumocoques R vivants 	la souris survit 	absence de pneumocoques
3	souche S pneumocoques tués par la chaleur 	pneumocoques S tués 	la souris survit 	absence de pneumocoques
4	 	S tués + R vivants 	mort de la souris 	 nombreux pneumocoques S vivants
5	+ protéase  	S tués, sans protéines + R vivants 	mort de la souris 	 nombreux pneumocoques S vivants
6	+ ADNase  	S tués, sans ADN + R vivants 	la souris survit 	absence de pneumocoques

**Document 1 : Les expériences de Griffith (1928), Avery, McLeod et McCarty (1944).**

- 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 Mc Carty 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 sexuée.



**Document 2 : Les différents types de transferts horizontaux de gènes.**

Il existe plusieurs mécanismes de transfert du matériel génétique chez les bactéries :

- La transformation : de l'ADN libre dans le milieu peut être incorporé au génome des bactéries
- La transduction : lors de l'infection d'une bactérie par un virus bactériophage, des fragments d'ADN de la bactérie hôte peuvent être emportés par le virus et intégrés au génome de la prochaine bactérie infectée
- La conjugaison : les bactéries établissent des ponts entre elles par lesquels elles échangent des molécules dont l'ADN

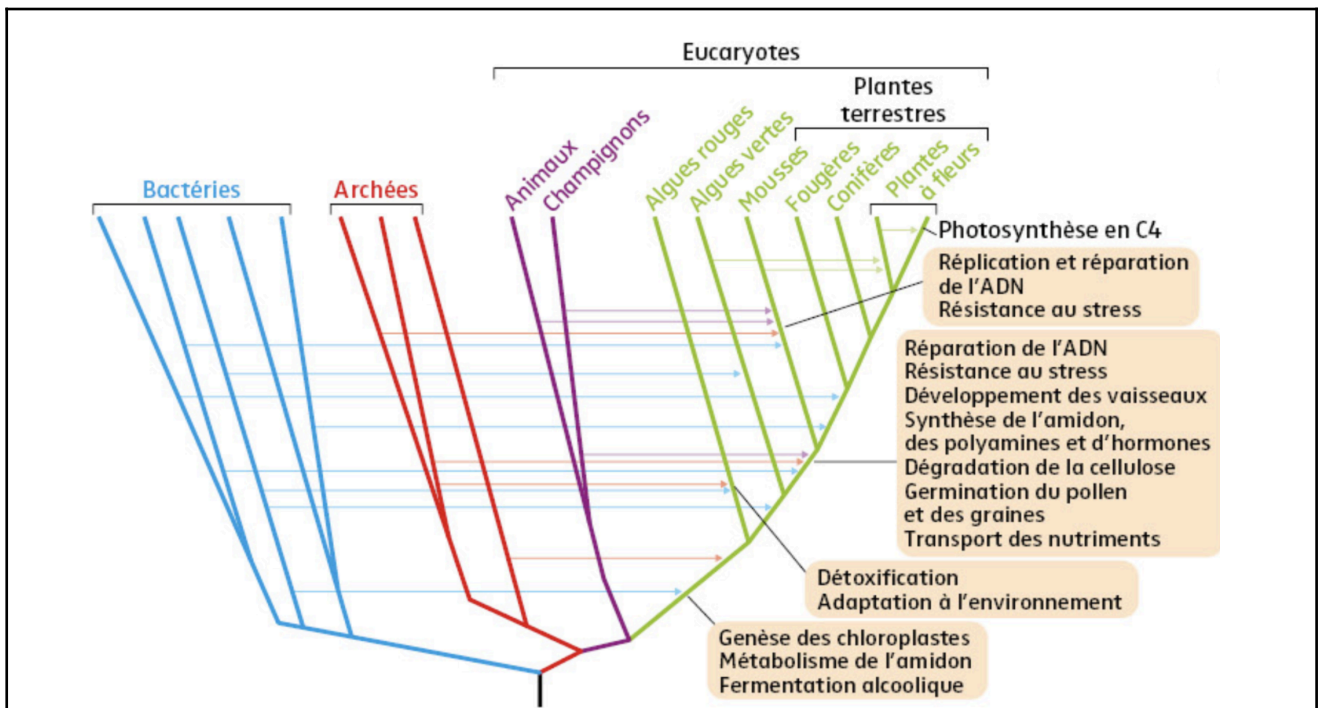
**B) Les Transfert horizontaux de gènes et conséquences évolutives**

1. À l'échelle des espèces

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, archées, 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



**Document 3 : Arbre phylogénétique du vivant présentant les transferts horizontaux de gènes dans la lignée des végétaux.**

Ainsi, l'acquisition de nouveaux caractères (par exemple l'acquisition du placenta chez l'Homme) et leur conservation au cours de l'évolution s'expliquent par l'acquisition chez l'individu d'un avantage sélectif. Cet avantage sera conservé au fil des générations chez les organismes receveurs. Autrement dit, les caractères acquis doivent permettre à leurs porteurs une meilleure survie ou une meilleure reproduction ce qui contribue à augmenter la fréquence des séquences génétiques intégrées dans les populations des générations suivantes. La sélection naturelle est donc une force évolutive qui permet la conservation des gènes "étrangers" avantageux dans le patrimoine génétique de l'espèce.

## 2. À l'échelle de l'écosystème

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 microorganismes à forte capacité de multiplication (bactéries et levures) permet la production massive de molécules d'intérêt utiles à la santé humaine (insuline par exemple).

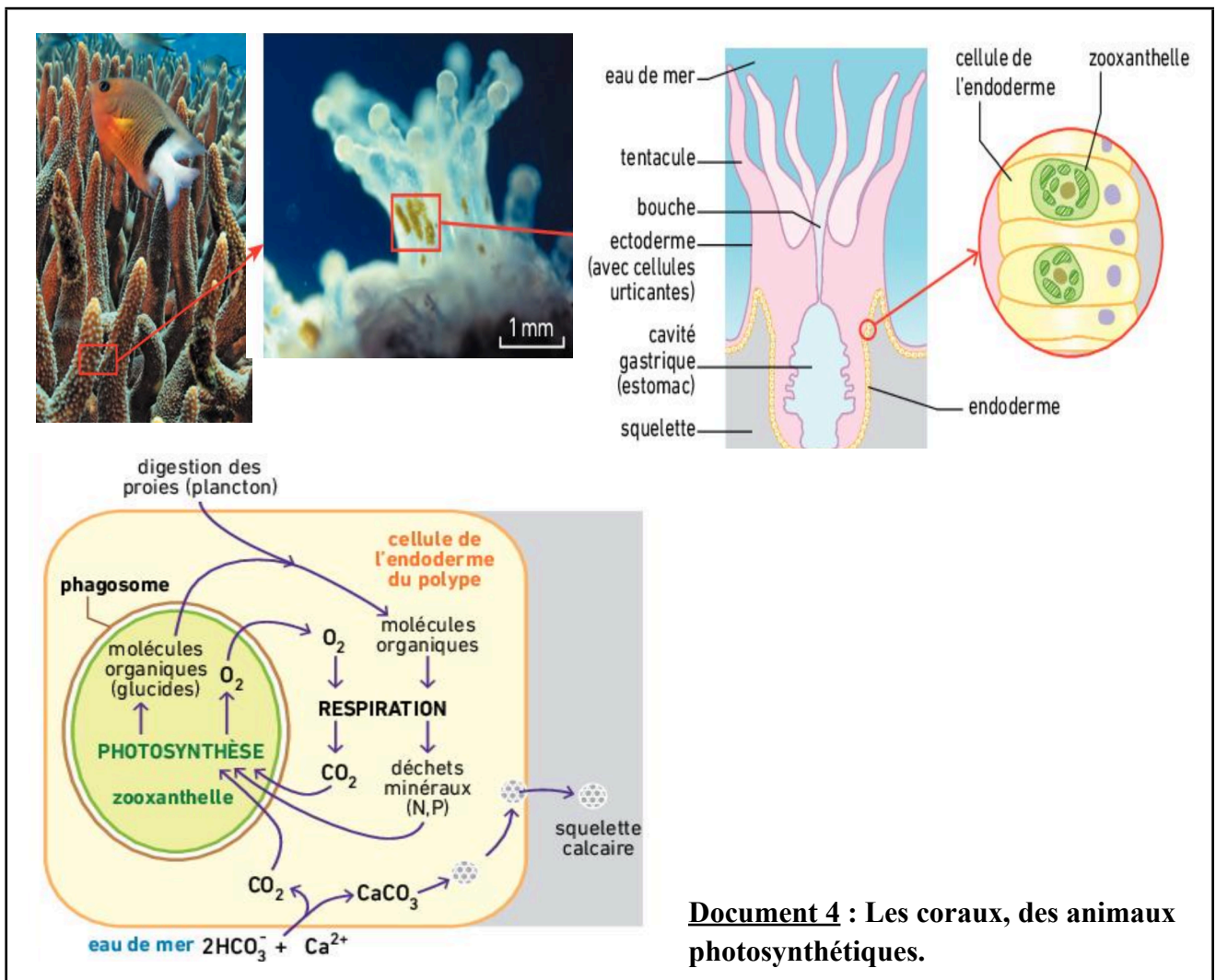
**Bilan : À côté des transferts verticaux de gènes, assurés de génération en génération par la reproduction sexuée, il existe des transferts horizontaux entre organismes parfois non étroitement apparentés. Ces transferts horizontaux se font par divers mécanismes : incorporation d'ADN libre par des bactéries, conjugaison bactérienne, transmission par des virus jouant le rôle de vecteurs de gènes. Du fait de l'universalité de l'ADN et des modalités de son expression, les gènes transférés par transfert horizontal peuvent enrichir les génomes. L'analyse de l'ADN d'une espèce montre qu'une fraction non négligeable de son génome résulte de transferts horizontaux de gènes ayant joué un rôle important dans son histoire évolutive. Les transferts horizontaux de matériel génétique ont un impact dans le domaine de la santé humaine : c'est en effet le plus souvent par transfert horizontal que les bactéries deviennent résistantes aux antibiotiques. L'Homme sait mettre à profit ces mécanismes pour réaliser artificiellement des transferts de gènes et faire produire par des bactéries des molécules d'intérêt thérapeutique.**

## II. Les endosymbioses, une diversification par fusion entre êtres vivants

### A) L'endosymbiose, une association étroite entre êtres vivants

Une symbiose est définie comme une relation durable, entre deux partenaires qui profitent tous les deux de cette association pour leur protection, leur nutrition, etc...

Dans le cas d'une endosymbiose (symbiose à l'intérieur), l'un des partenaires vit dans un organe ou une cellule du deuxième partenaire.



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.

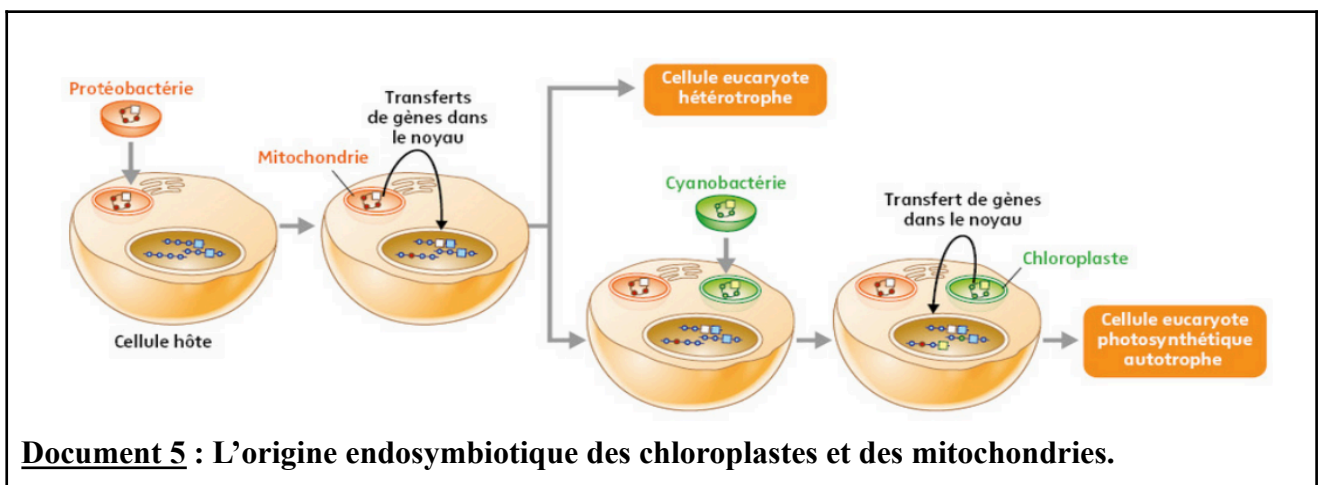
L'endosymbiose associe les génomes des deux partenaires au sein d'une même cellule. Souvent, celui de l'endosymbiote régresse, cette régression s'accompagnant d'un transfert de gènes vers le noyau de la cellule hôte, facilité par l'extrême proximité des partenaires. Ce transfert contribue à la complexification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

## B) L'origine endosymbiotique des organites

À partir de la fin du XIXe 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  $\mu\text{m}$ ). 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.

Les mitochondries et des chloroplastes sont deux organites énergétiques des cellules eucaryotes. L'étude de certaines de leurs caractéristiques (dimensions, enveloppe et surtout génome) a montré que ces organites étaient très proches de certaines bactéries (l'ADN des mitochondries et des chloroplastes est en effet plus apparenté à celui des bactéries qu'à celui de l'ADN nucléaire des eucaryotes). Ces constats ont abouti à la théorie endosymbiotique selon laquelle les chloroplastes et les mitochondries auraient pour origine des bactéries symbiotiques qui auraient intégré des cellules au cours de l'évolution. Les cellules nouvellement équipées seraient devenues les cellules eucaryotes.



**Document 5 : L'origine endosymbiotique des chloroplastes et des mitochondries.**

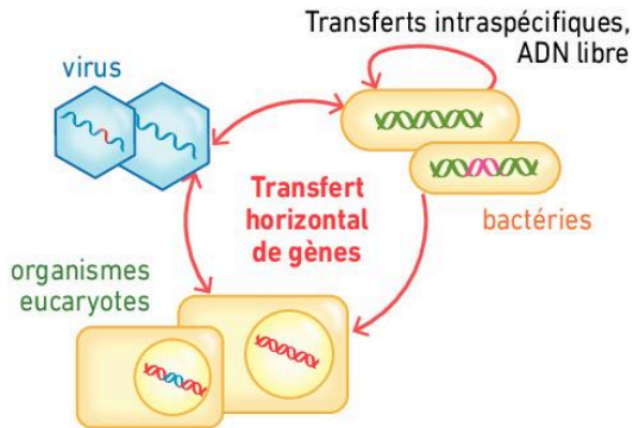
**Bilan : Certains organismes incorporent au sein même de leurs cellules des organismes unicellulaires microscopiques. Une telle association, si elle est bénéfique pour les deux partenaires, constitue une endosymbiose. Souvent, le génome de la cellule intégrée régresse, mais certains de ses gènes sont transférés au génome de la cellule hôte. Le constat de grandes similitudes structurales et biochimiques entre les organites cellulaires et des bactéries a conduit à formuler la théorie de l'endosymbiose. Cette théorie propose que les mitochondries et les chloroplastes dérivent de bactéries ayant été intégrées au cytoplasme d'autres cellules il y a plus de 2 milliards d'années. Au fur et à mesure du temps, une grande partie du génome des cellules intégrées a régressé, et certains gènes ont été transférés dans le noyau de la cellule-hôte.**

**Les transferts de gènes sont à l'origine de la diversification du vivant. On peut envisager de les présenter sur des arbres phylogénétiques, si bien que l'on obtient des « réseaux phylogénétiques » qui traduisent la complexité de l'histoire évolutive du vivant .**

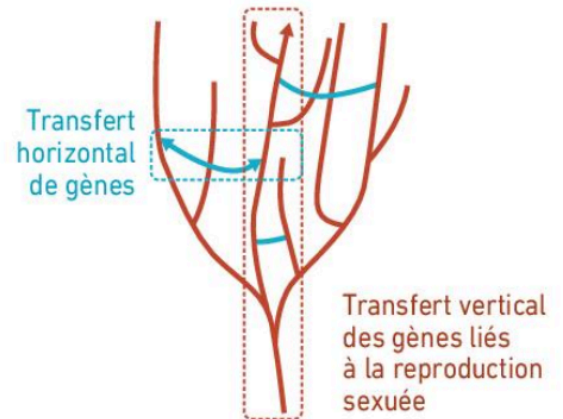
## Schéma bilan

### Les échanges de gènes par transfert horizontal

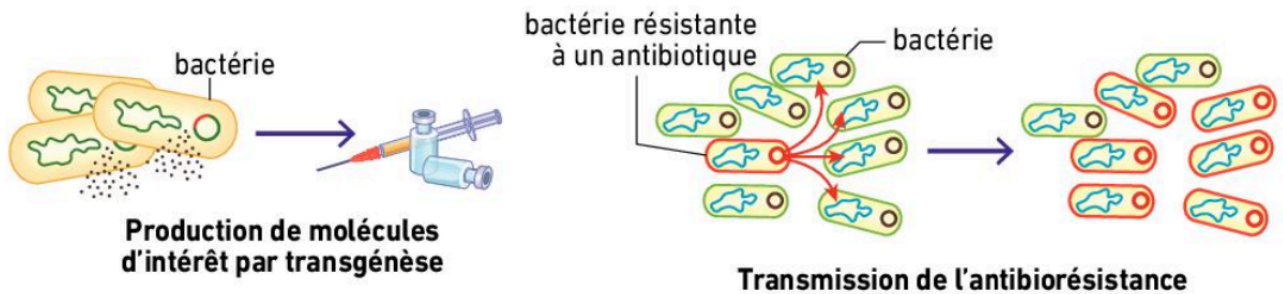
Des mécanismes non liés à la reproduction sexuée



Un rôle important dans l'évolution



Des conséquences sur la santé humaine



### L'enrichissement des génomes par endosymbiose

