

GÉNÉTIQUE ET ÉVOLUTION



*Terminale
spécialité*

2- La complexification des génomes : transferts horizontaux et endosymbioses

Lycée Camille Claudel

Introduction :**3****I- Les transferts horizontaux****3****A- Universalité structurale et fonctionnelle de l'ADN****3****B- La découverte de la transformation bactérienne****4****C- Définitions et mécanismes des transferts horizontaux****4**

1- la transformation 5

2- la conjugaison 5

3- La transduction 7

D- Les transferts horizontaux chez les Eucaryotes**8****E- Les transferts horizontaux en santé humaine****9****II- Les endosymbioses****10****A- Endosymbiose et diversification du vivant****10****B- La théorie endosymbiotique de l'évolution****12****C- Des arguments en faveur de la théorie endosymbiotique****12****Conclusion :****14**

Introduction :

La **méiose** et la **fécondation** permettent de brasser les gènes au sein d'une espèce créant de la **diversité** entre les individus. Si ce brassage est un atout en terme d'adaptation de l'espèce, de nouvelles **mutations** transmissibles peuvent apparaître créant de nouvelles populations, voire de **nouvelles espèces**, à condition que ces dernières confèrent un avantage et non l'inverse. Mais l'énorme diversité des êtres vivants ne peut s'expliquer uniquement par ces modifications. Il doit donc exister **d'autres mécanismes** permettant de **complexifier le génome** des êtres vivants : c'est ce que nous allons voir à travers les **transferts horizontaux** et les **endosymbioses**.

Photo de couverture : bactériophages d'après [Bromance](#)

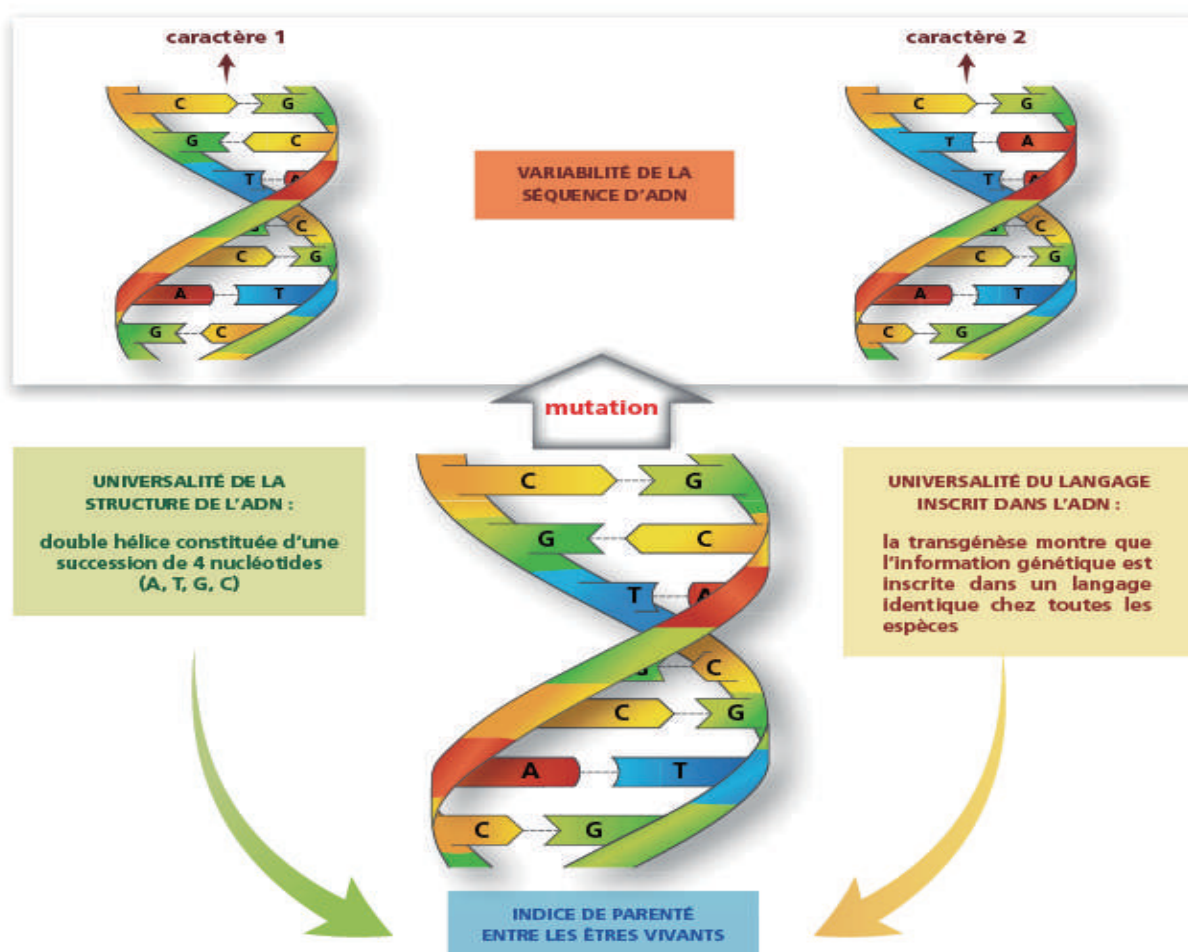
Problème : Comment complexifier le génome d'une espèce, permettant une meilleure adaptation à l'environnement, à partir de nouveaux éléments génétiques ?

I- Les transferts horizontaux

A- Universalité structurale et fonctionnelle de l'ADN

La molécule d'ADN est le **support de l'information génétique** des cellules. Elle présente une **organisation et un fonctionnement universels** au sein du monde vivant. C'est d'ailleurs l'un des arguments qui permet d'envisager une origine commune de tous les êtres vivants. Ainsi, l'information génétique présente la **même structure, et le même codage de l'information chez tous les êtres vivants**, que l'on soit une bactérie ou un éléphant. Ce qui va changer d'un individu à un autre, c'est une différence d'allèles. Ce qui va changer d'une espèce à une autre, c'est aussi la qualité des gènes et la quantité de gènes exprimés. C'est grâce à l'**universalité de l'ADN** que nous pouvons réaliser des transgénèses en biotechnologie.

Doc. 1 : Universalité de la molécule d'ADN.



B- La découverte de la transformation bactérienne



Activité

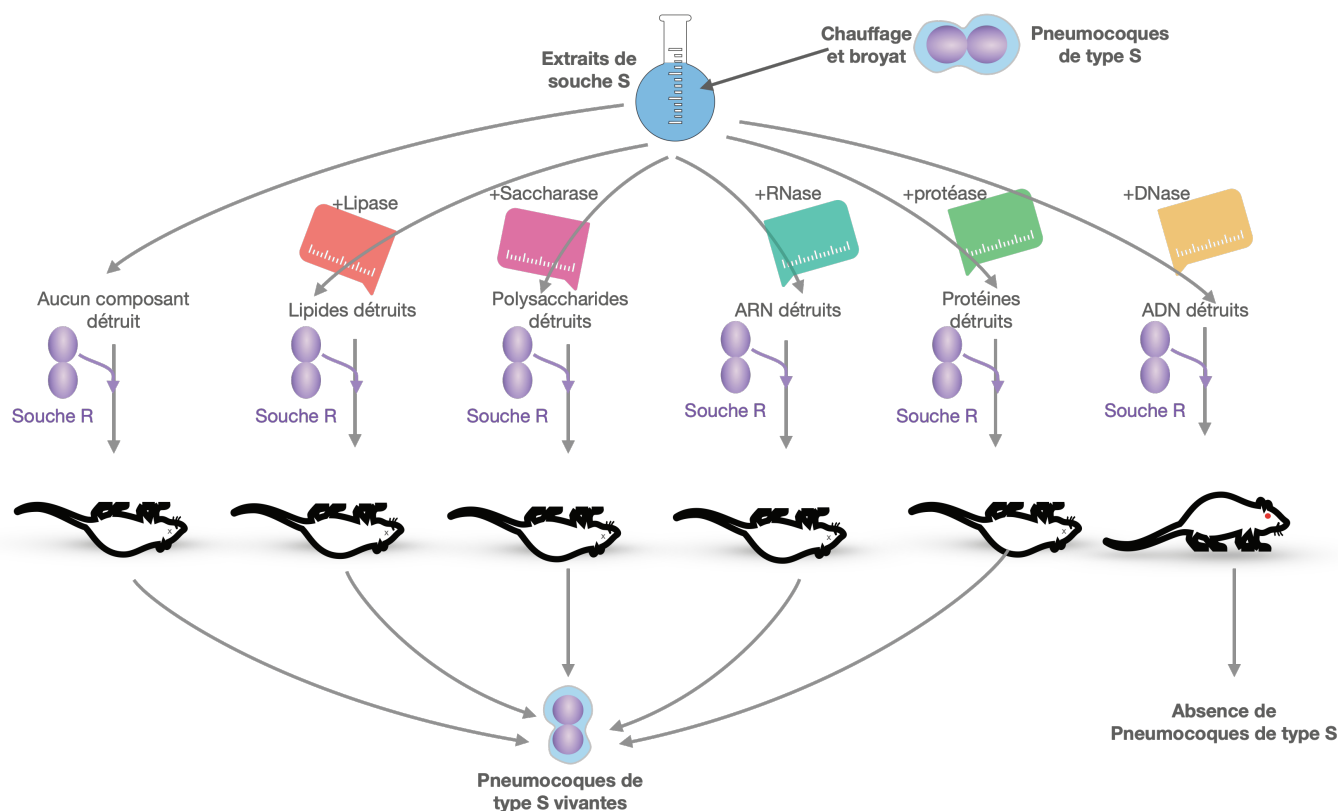
Expériences de Griffith

Frederick Griffith fit une observation inattendue au cours d'expériences réalisées en 1928 sur des bactéries de **pneumocoques** (*Streptococcus pneumoniae*). Cette bactérie est responsable de la **pneumonie** chez l'Être Humain, mais tue également les souris. Griffith découvrit une souche moins virulente (**R = rugueuse**) avec laquelle il réalisa des séries d'expériences ainsi qu'avec la souche virulente (**S = lisse**). Griffith montra qu'il existe un **principe transformant** pouvant passer d'une population de bactéries virulente à une autre non virulente et qui à son tour devient virulente. **Autrement dit la souche R se transforme en souche S.**

L'étape suivante consistait à identifier le **support moléculaire** responsable de cette transformation. Cela fut résolu en 1944 par Oswald Avery et 2 de ses collaborateurs, Colin McLeod et Maclyn McCarthy qui ont repris les expériences de Griffith et ont montré parmi différentes molécules, que seul l'**ADN** était responsable de cette **propriété transformante**.

L'autre enseignement est que les **bactéries** sont **capables de s'échanger de l'ADN avec leur milieu**.

Doc. 2 : Expériences de Avery, MacLeod et Mac Carthy - 1944



C- Définitions et mécanismes des transferts horizontaux

Définitions :

Transfert vertical : Dans le cadre d'une reproduction sexuée, le brassage des gènes s'effectue et nous héritons des gènes de nos parents. Ce transfert de gènes est qualifié de **transfert vertical** car il fait descendre les gènes de génération en génération.



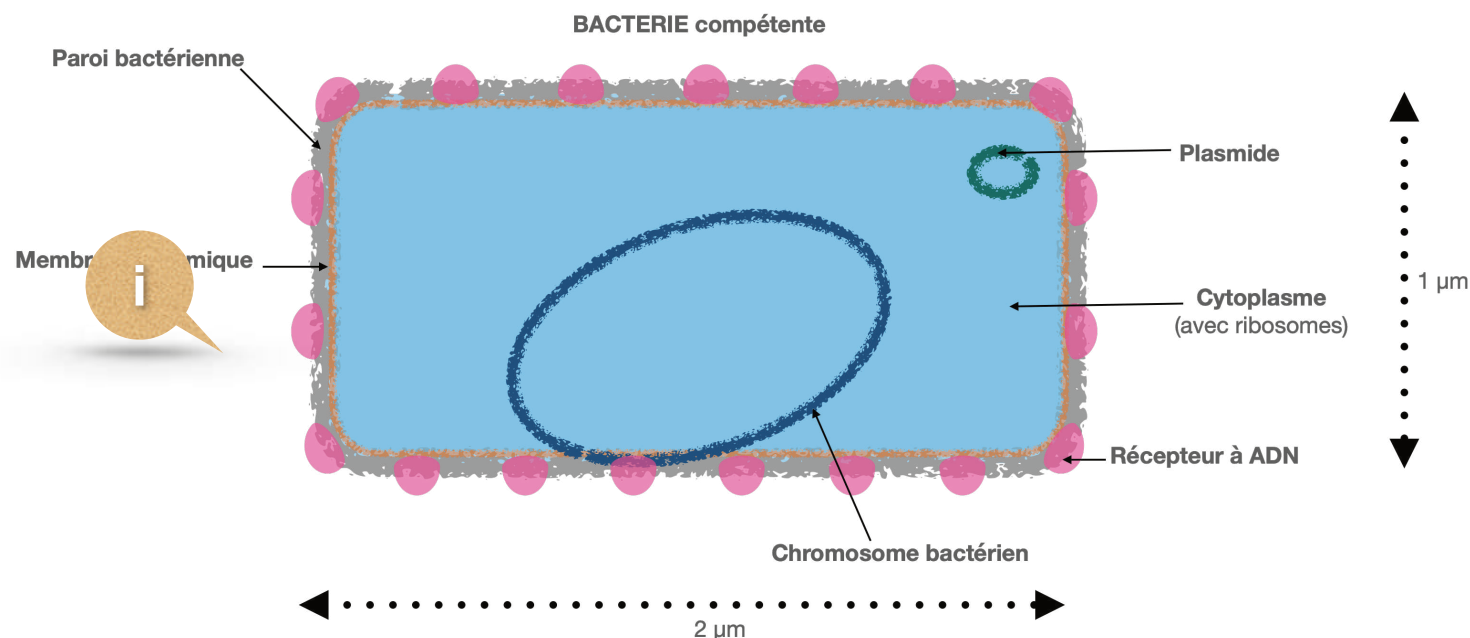
Transfert horizontal : Le **transfert horizontal** de gènes est un processus qui permet à un organisme d'intégrer du matériel génétique provenant d'un autre organisme sans en être apparenté. C'est un mécanisme très fréquent entre différentes bactéries d'espèces différentes, mais cela existe aussi entre eucaryotes unicellulaires et entre les virus et tous les organismes vivants.

Complexification du génome

Les mécanismes de **transferts horizontaux** sont fréquents et multiples, notamment entre **procaryotes**. Les **gènes assimilés** par les organismes leur confèrent de **nouveaux phénotypes**. Cela influe alors sur les **populations** et leur **adaptation à l'environnement**. C'est ce qui permet de diversifier les espèces de procaryotes et permet d'avoir une meilleure adaptation à leur environnement sans reproduction sexuée.

Chez des bactéries d'espèces différentes, on peut distinguer **3 mécanismes principaux de transferts horizontaux**.

Doc. 3 : Schéma d'une bactérie

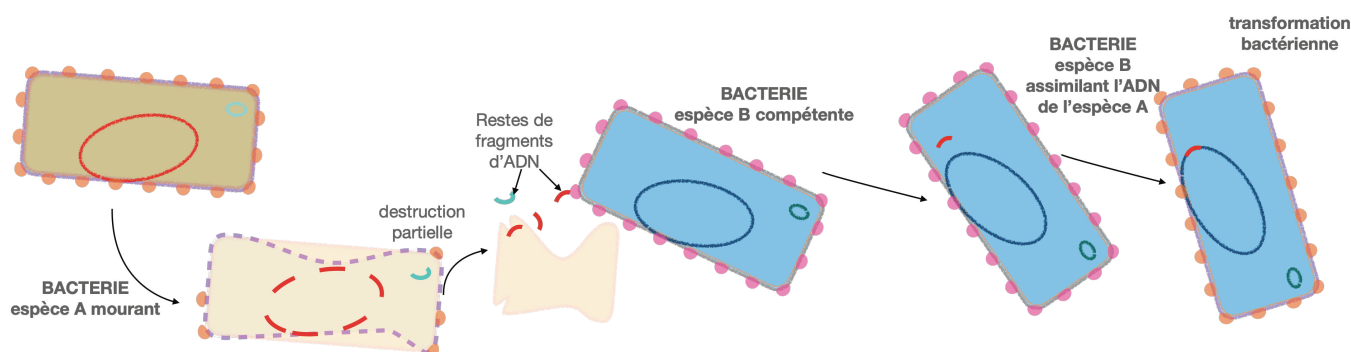


1- la transformation

C'est le mécanisme découvert par Griffith en 1928. Il s'agit d'un **transfert passif d'ADN** d'une bactérie donatrice à une bactérie réceptrice, dite en état de **compétence**. Le transfert est partiel, autrement dit, l'ADN assimilé n'est pas l'ADN complet de la bactérie morte. L'ADN issu de la bactérie morte se fixe sur la paroi de la bactérie qui assimile cet ADN, au niveau de sites récepteurs et dans des conditions strictes de l'environnement.

Malgré tout, ce transfert horizontal, joue un rôle non négligeable dans l'assimilation ou l'apprentissage de la **résistance aux antibiotiques** des **pneumocoques**.

Doc. 4 : Schématisation de la transformation.



2- la conjugaison

Complexification du génome

La conjugaison est un mode de communication entre bactéries ou plutôt un mode d'échange de matériels génétiques mobiles qu'on appelle plasmides. Un pont cytoplasmique se crée entre les 2 bactéries tandis qu'un plasmide a été répliqué. La copie du plasmide passe par le pont cytoplasmique d'une bactérie à l'autre. Il s'agit du principal facteur d'évolution des bactéries, en particulier pour l'acquisition de la résistance aux antibiotiques.



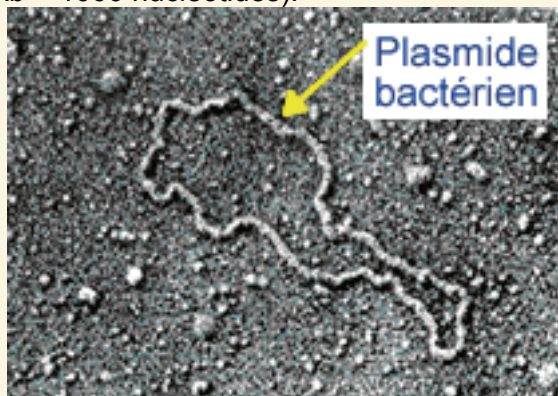
Définition :

Plasmide: Les plasmides sont des petits fragments d'ADN circulaire présents dans la cellule bactérienne et indépendants du génome bactérien.

Complément :

Les plasmides présentent les caractéristiques suivantes :

➔ Leur ADN est **bicaténaire, circulaire** avec un **nombre de nucléotides** inférieur à **10 kb** (1 kilobase = kb = 1000 nucléotides).



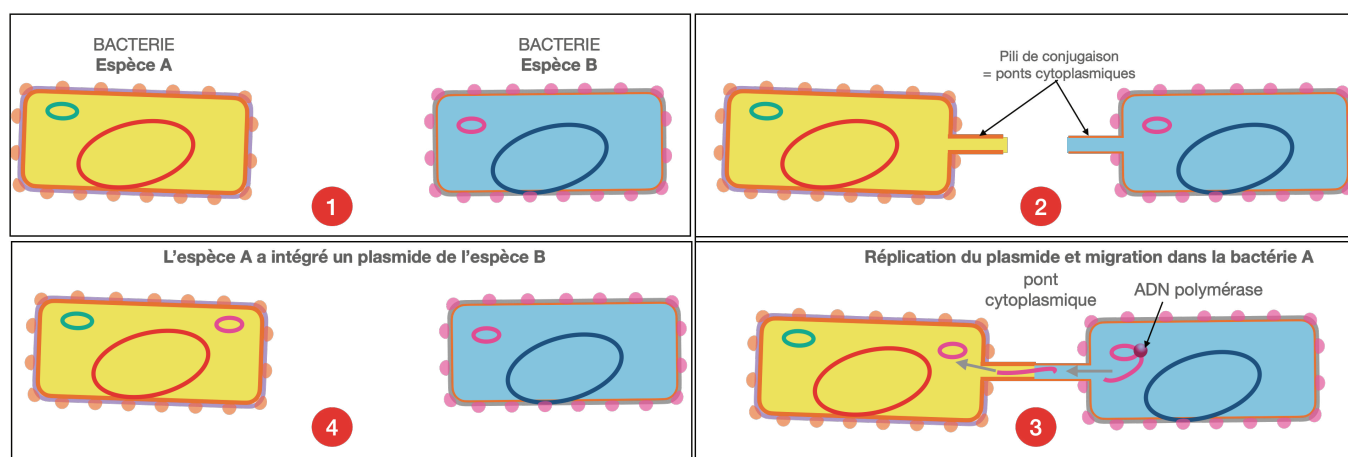
D'après l'[université de Namur](#)

➔ Le **nombre de plasmides** dans une cellule bactérienne peut être considérable (**plusieurs centaines**).

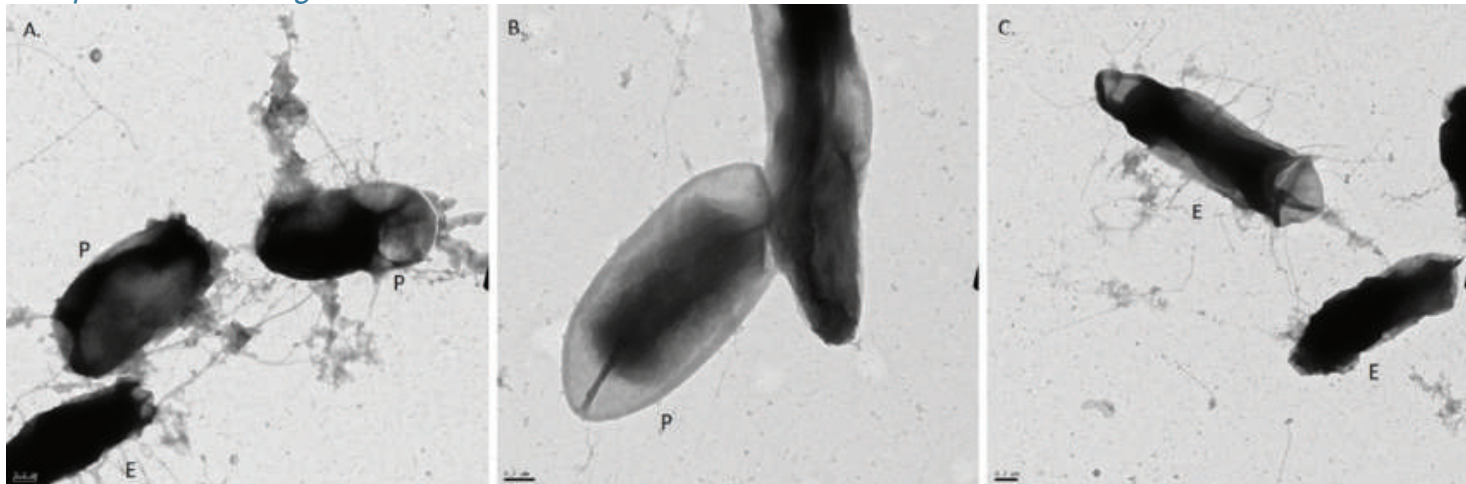
➔ Les plasmides portent normalement des gènes qui leur confèrent un avantage sélectif, par exemple une résistance à un antibiotique.

➔ Leur réplication est indépendante de celle du génome bactérien.

Doc. 5 : Schématisation de la conjugaison.



Doc. 6 : photos obtenues en Microscopie électronique de conjugaisons bactériennes chez E.coli.

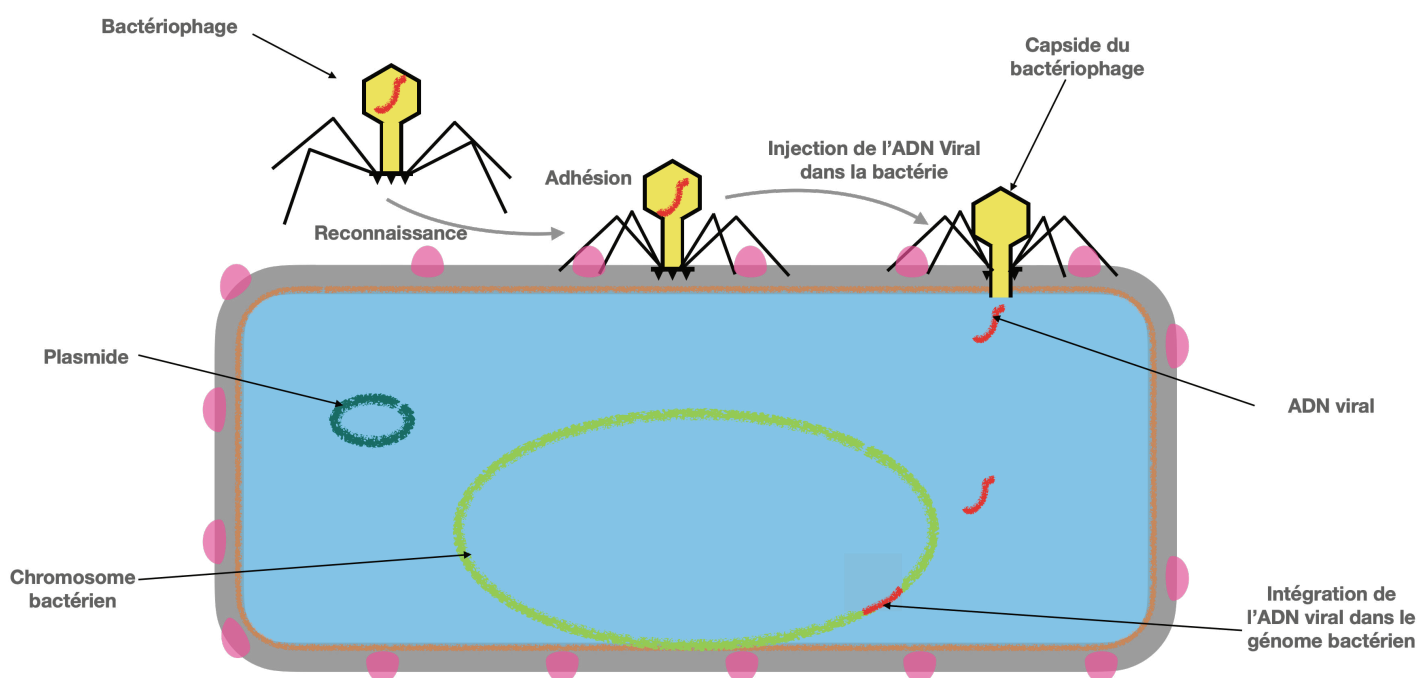
D'après [researchgate](https://www.researchgate.net)

3- La transduction

La transduction est un transfert d'ADN bactérien partiel, en utilisant comme vecteur, un **virus** bactérien qu'on appelle **bactériophage** et qui n'est plus virulent *in fine*. Dans la **première étape** de contamination, il est actif et virulent. Il se fixe à une bactérie donneuse et amorce son cycle de reproduction en insérant son ADN dans l'ADN bactérien. Puis en associant ses protéines et son ADN, l'un d'entre eux incorpore par erreur de l'ADN bactérien. Ce dernier virus formé va perdre sa virulence, mais pourra tout de même injecter l'ADN qu'il contient dans une bactérie receveuse, donc un ADN bactérien et non viral.

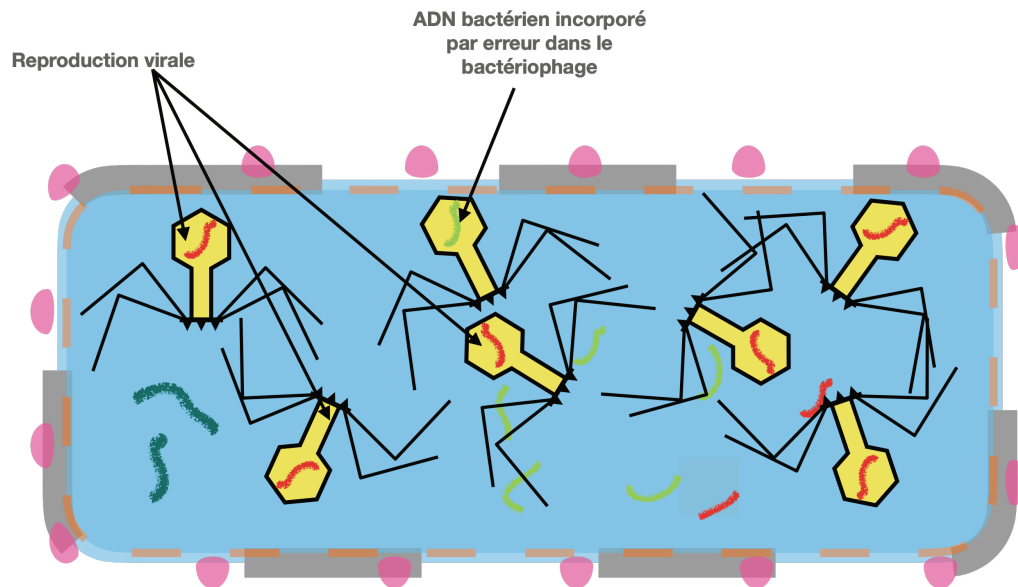
Doc. 7 : Différentes étapes de la transduction.

Doc 7A- Infection par un virus d'une bactérie donneuse

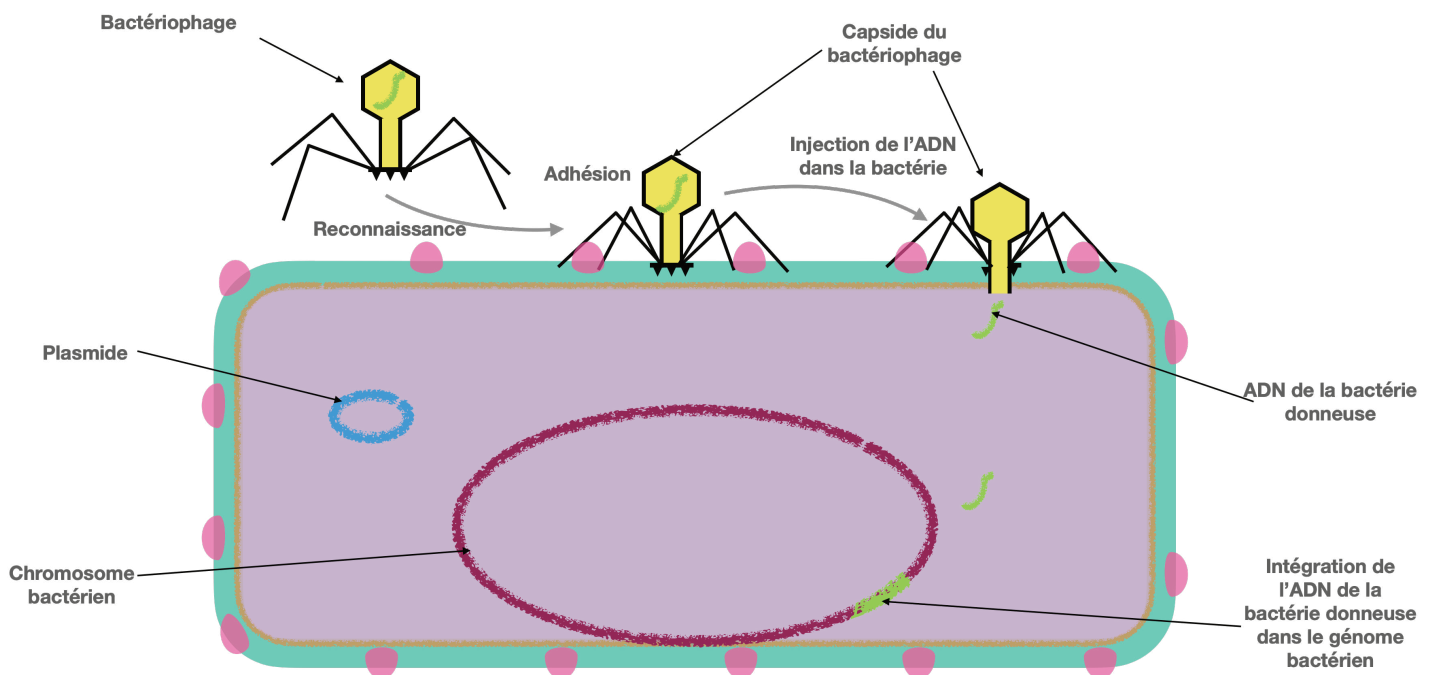


Complexification du génome

Doc 7B- Prolifération virale, incorporation de matériel génétique de la bactérie dans un virus et destruction de cette dernière



Doc 7C- Intégration par la bactérie receveuse (B) de l'ADN de la bactérie donneuse sans reproduction virale



D- Les transferts horizontaux chez les Eucaryotes

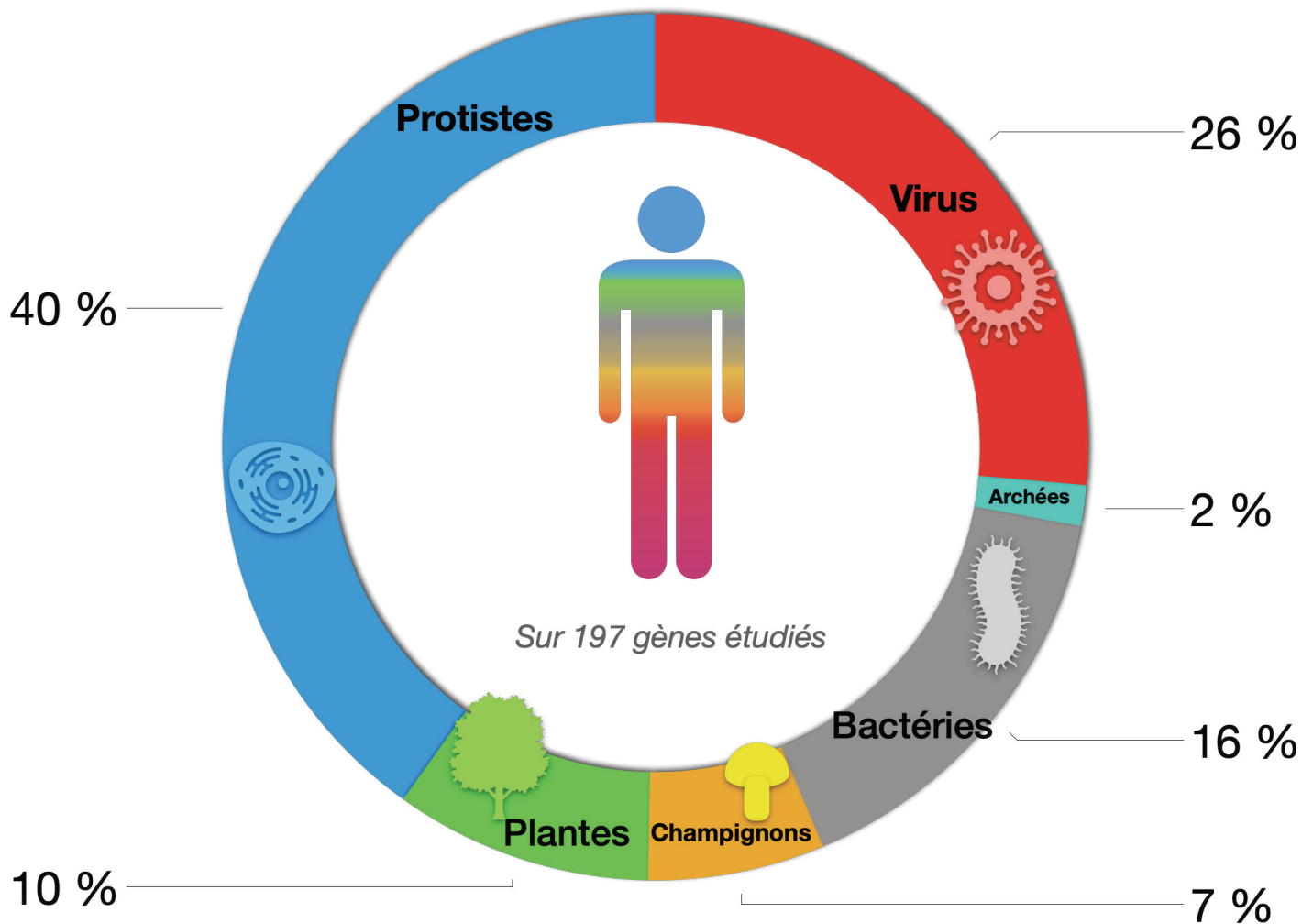
Cette transmission de gènes à d'autres organismes hors descendance n'a que très peu été étudiée **chez les Eucaryotes** : décrit à la fin des années 2000, ce phénomène comporte des caractéristiques différentes des procaryotes (processus, fréquence des transferts...). En effet, chez les Eucaryotes, le transfert horizontal ou hybridation du patrimoine génétique entre deux espèces est plus limité notamment dû au mécanisme de reproduction sexuée. Le taux de transfert peut varier de manière importante entre lignées, et même s'il est relativement faible sur l'ensemble des gènes, il a tout de même lieu. **Le plus connu est celui lié aux virus.** Chez l'Homme, l'étude de nos gènes montrent que, sur **197 gènes identifiés comme pouvant provenir de transferts horizontaux, leur origine n'est pas liée qu'aux virus.**



Complexification du génome

L'un des exemple couramment cité est celui de la **syncytine**, protéine d'origine virale (Rétrovirus HERV), et de la création du placenta chez les mammifères.

Doc. 8 : Origine des **gènes hérités** par transferts horizontaux chez l'Homme



E- Les transferts horizontaux en santé humaine

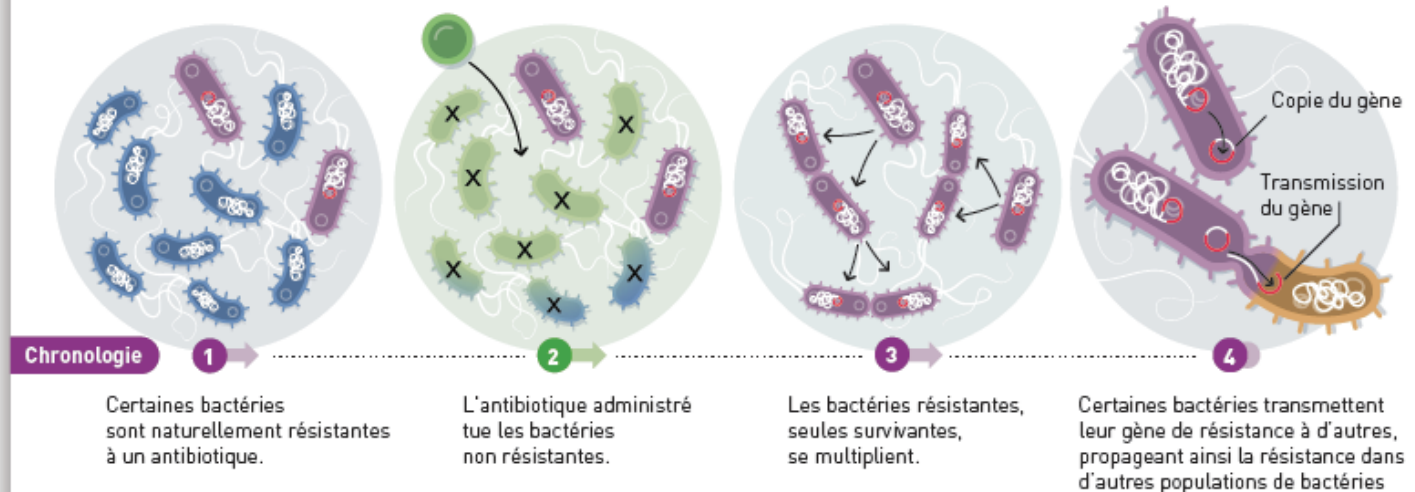
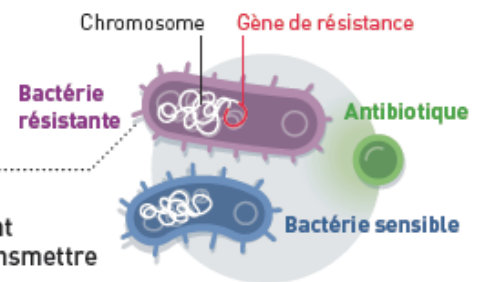
En **médecine**, les transferts horizontaux sont devenus un enjeu de santé. En effet, des **bactéries pathogènes** de plus en plus nombreuses acquièrent des propriétés de résistance aux antibiotiques. L'un des exemples les plus célèbres est celui des **staphylocoques dorés** (*staphylococcus aureus*) responsables des **maladies nosocomiales**. Lorsque la barrière cutanée est rompue (blessures), une bactérie cutanée (ou autre) peut alors se développer au niveau de la lésion et provoquer une infection dont le **degré de gravité dépendra de la souche bactérienne** à l'origine de l'infection ainsi que la rapidité de traitement et l'état de santé général du patient. Mais ce qui est inquiétant, c'est que certaines de ces bactéries ont acquis une **résistance à de multiples antibiotiques, notamment en milieu hospitalier**. Cette résistance est acquise principalement par le biais de plasmides et donc surtout de phénomène de **conjugaison**.

Film de l'INSERM - Grandes tueuses : antibiorésistance (13'15")
A voir absolument

Doc. 9 : Résistance aux antibiotiques

RÉSISTANCE AUX ANTIBIOTIQUES : UN PHÉNOMÈNE QUI SE TRANSMET

L'antiorésistance est un phénomène naturel : certaines bactéries sont naturellement insensibles à un antibiotique. Le problème s'aggrave lorsqu'une souche de bactéries est mise en présence de cet antibiotique : les bactéries sensibles sont éradiquées et seules subsistent les résistantes. Les survivantes vont alors se multiplier, et potentiellement transmettre leurs gènes de résistance à d'autres bactéries, amplifiant alors le phénomène.



D'après la [fondation en recherche médicale](#)

Notre connaissance des **transferts de gènes** nous permet aussi de **mieux maîtriser la production de médicaments**. On parle alors de **gènes d'intérêts** qui sont transférés dans des cultures bactériennes. On isole les bactéries ayant assimilé le gène d'intérêt, puis elles sont mises en culture. Ces mêmes bactéries produisent alors des molécules ayant un intérêt pharmaceutique pour l'être humain, comme par exemple la **production d'insuline**.

II- Les endosymbioses

Définition :

Symbiose : C'est une association durable de 2 organismes tirant bénéfice l'un de l'autre. *Exemple : Flore bactérienne de la peau.*

Endosymbiose : Si la symbiose est plus étroite et implique qu'un organisme plus grand, intègre dans ses cellules ou ses organes d'autres organismes plus petits, on parle alors d'endosymbiose. *Exemples : le ver de Roscoff, endomycorhizes...*

A- Endosymbiose et diversification du vivant



TP-TD

Endosymbioses

L'**endosymbiose** est donc une symbiose particulière entre deux organismes vivants, où l'un est contenu par l'autre. L'organisme interne est appelé **endosymbionte**. Cette association est fréquente dans l'histoire évolutive des eucaryotes. Une fois les organismes fusionnés, la cellule hôte intègre même une part du génome de l'endosymbionte. Parfois ce génome peut aussi régresser au cours des populations successives. Parfois, l'endosymbionte finit même par devenir un organite à part entière de la cellule hôte. **Il permet ainsi à l'organisme hôte d'acquérir de nouveaux métabolismes.**

Exemple vu en TP des vers de Roscoff

Complexification du génome

Doc. 10 : Exemples d'échanges entre le ver de Roscoff (*Symsagittifera roscoffensis*) et son algue *Tetraselmis convolutae*



Ver de Roscoff = Hôte

Symsagittifera roscoffensis

Apports au symbionte

- Protection contre le zooplancton
- milieu constant
- Conditions optimales pour la photosynthèse
- Nutriments azotés

Algue = Symbionte

Tetraselmis convolutae

Apports au ver

- Sucres issus de la photosynthèse
- O₂
- Adaptation à des milieux

Complexification du génome

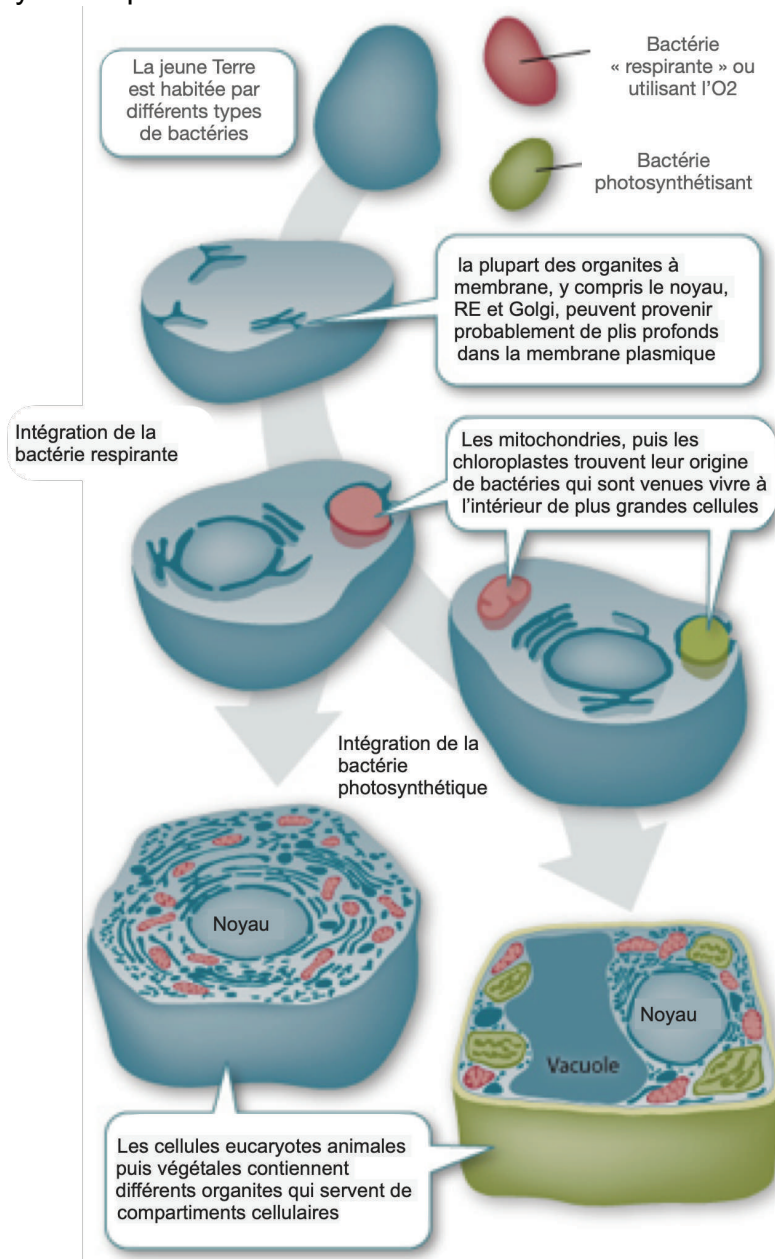
B- La théorie endosymbiotique de l'évolution

Dans les années 1960, **Lynn Margulis** proposa une **explication endosymbiotique** de l'**origine de certains organites** de la cellule, comme par exemple la **mitochondrie** ou le **chloroplaste**. Si cette théorie fut d'abord froidement reçue par la communauté scientifique, elle est aujourd'hui admise et même étendue à d'autres organites.

Ainsi, **mitochondries** et **chloroplastes** (ou plus largement les plastes), et même d'autres organites comme les lysosomes ou les flagelles seraient aussi d'**anciens procaryotes** ayant été incorporé par des cellules plus volumineuses. Ces cellules apportent les nutriments nécessaires aux micro organismes incorporés et ces derniers donnent d'autres capacités à la cellule hôte, lui conférant une meilleure adaptation à son environnement.

Ces grosses cellules anaérobies auraient donc acquis de **nouveaux métabolismes** tels que la respiration ou la photosynthèse grâce à des procaryotes, qui seraient devenu dans le premier cas les **mitochondries** et dans le second les **chloroplastes** des plantes.

Doc. 11 : Théorie endosymbiotique.



C- Des arguments en faveur de la théorie endosymbiotique

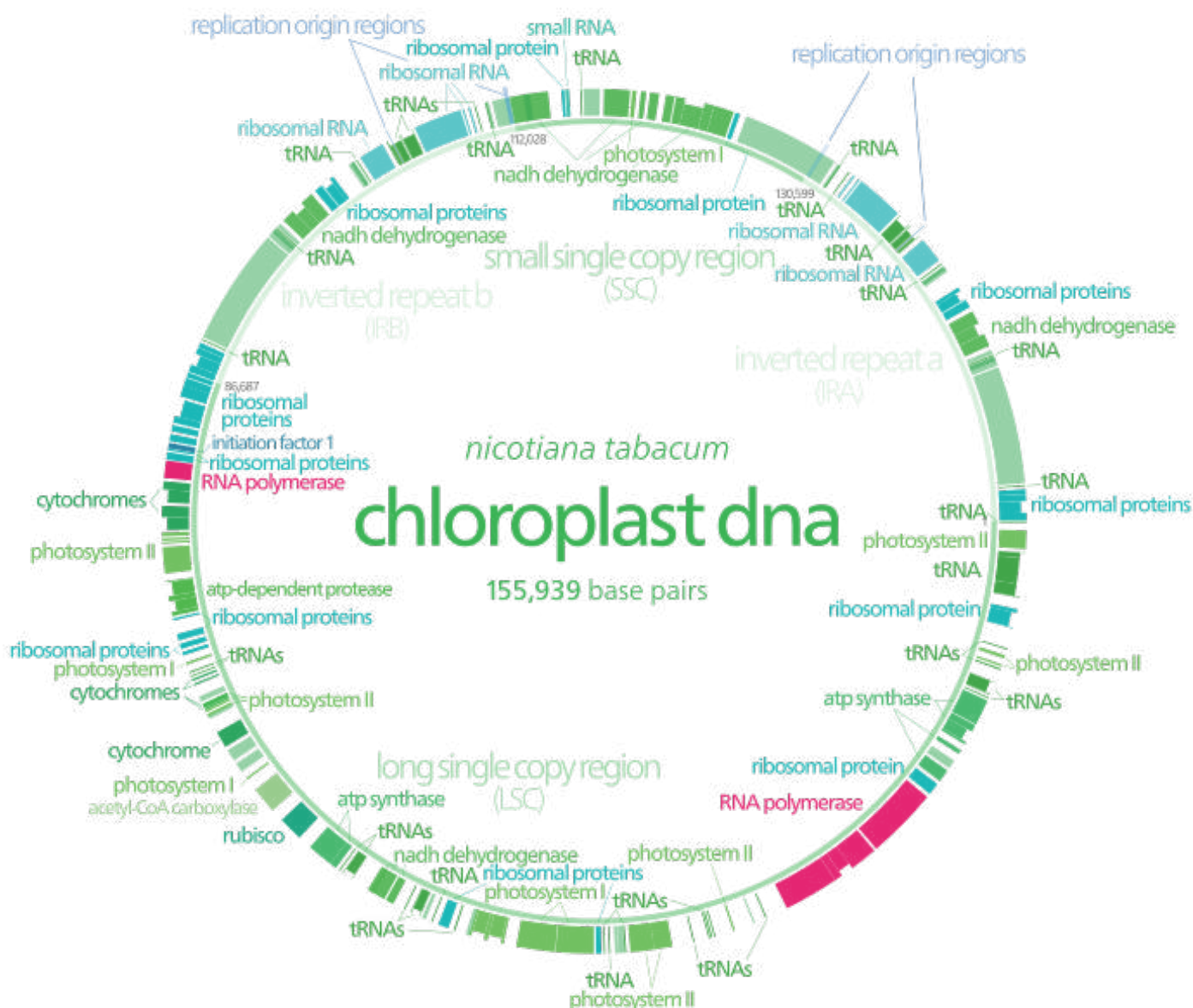
Complexification du génome

L'origine endosymbiotique des mitochondries et des chloroplastes est appuyée par différents arguments :

- ▶ Présence d'une **double membrane** limitant les organites. La **membrane externe** correspond plus à une **membrane plasmique de cellule eucaryote** dans sa composition, tandis que la **membrane interne** correspond plus à une **membrane bactérienne**.
- ▶ Les mitochondries et des chloroplastes possèdent en partie **leur propre ADN**. On dit que ce sont des **organites semi-autonomes**. Il existe aussi les outils moléculaires permettant la réplication de leurs ADN.
- ▶ Il existe des **ribosomes particuliers** à ces organites que l'on retrouve au niveau bactérien.
- ▶ La **division des organites** intervient à un **rythme différent de celui du noyau**.

Même si on observe un **appauvrissement génétique** de ces organites par rapport aux bactéries originelles, on pense qu'une partie du matériel génétique a été incorporé dans l'ADN de la cellule hôte. Cela signifie qu'une **partie du génome de l'endosymbionte a été transféré dans le noyau de la cellule hôte** ce qui est donc un transfert horizontal.

Doc. 12 : Carte génétique du chloroplaste



Complexification du génome

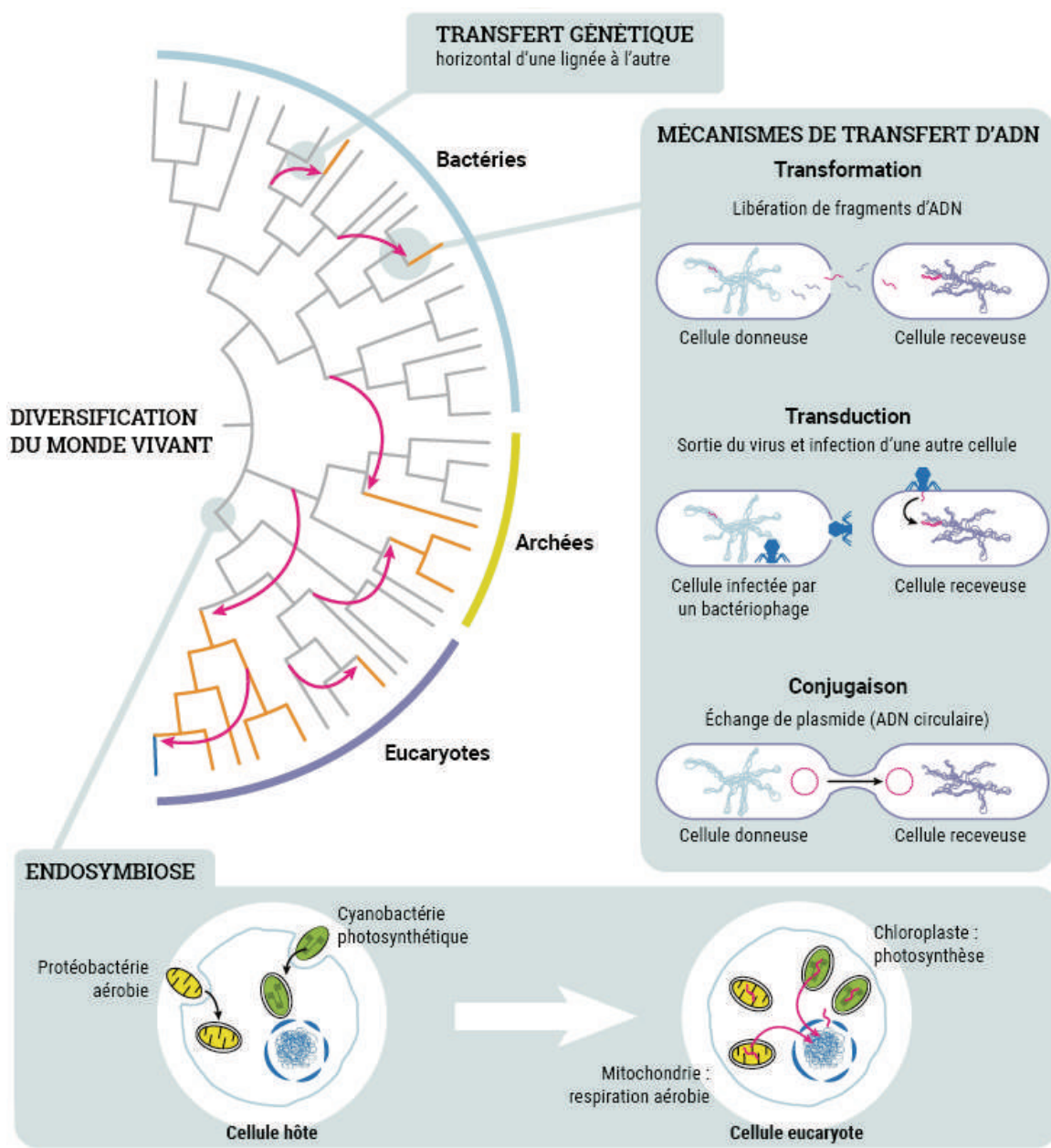
Conclusion :

Le génome de nombreux organismes comporte des gènes qui ont été hérités à l'occasion de **transfert entre les différentes espèces**. Ces **transferts sont dits horizontaux** car ils échappent à la logique de la reproduction sexuée et sont transférés **d'une espèce à une autre**. Pour cette raison on les appelle aussi **transferts latéraux**. Si les mécanismes chez les procaryotes semblent au nombre de trois (**transformation, conjugaison, transduction**), chez les eucaryotes les transferts horizontaux sont plus difficiles.

En médecine les transferts horizontaux **chez les procaryotes pathogènes** compliquent les soins apportés aux patients par l'acquisition d'**antibiorésistances multiples**, même si en pharmacie on utilise aussi certaines de ces propriétés pour produire des médicaments (**gènes d'intérêt**).

Les transferts horizontaux ne sont pas les seuls mécanismes de complexification du génome. L'**endosymbiose** est un autre mécanisme jouant un rôle important dans l'évolution. En effet les **mitochondries et des chloroplastes** ont trouvé leur place grâce à ces mécanismes. L'**ADN** que contiennent ces organites en témoigne.

Schéma bilan du NATHAN :



Problématique du cours :

Comment le génome des êtres vivants peut-il se complexifier et favoriser l'adaptation à l'environnement en dehors de la reproduction sexuée ?

Les idées clés :

1. Une base commune : l'universalité de l'ADN

- ➔ L'ADN est le support universel de l'information génétique chez tous les êtres vivants.
- ➔ Même structure, même code génétique → permet le passage de gènes entre espèces.
- ➔ Cette universalité explique la possibilité des transferts horizontaux et des biotechnologies (ex. transgénèse).

2. Les transferts horizontaux de gènes

Définition : Un transfert horizontal est le transfert d'ADN entre organismes sans lien de filiation (≠ transfert vertical : parents → descendants).

Rôle

- ➔ Acquisition rapide de nouveaux caractères
- ➔ Adaptation rapide à l'environnement
- ➔ Mécanisme majeur d'évolution chez les procaryotes

2-1. Les trois mécanismes chez les bactéries**a. Transformation**

- ➔ Capture d'ADN libre provenant d'une bactérie morte.
- ➔ La bactérie réceptrice doit être compétente.
- ➔ Mise en évidence par Griffith, puis preuve que l'ADN est le support de l'information génétique (Avery).
- ➔ Rôle clé dans l'acquisition de résistances aux antibiotiques.

b. Conjugaison

- ➔ Transfert d'un plasmide via un pont cytoplasmique entre deux bactéries.
- ➔ Les plasmides sont des ADN circulaires indépendants du chromosome.
- ➔ Mécanisme majeur de diffusion de l'antibiorésistance.

c. Transduction

- ➔ Transfert d'ADN bactérien par l'intermédiaire d'un bactériophage.
- ➔ Le virus transporte par erreur de l'ADN bactérien vers une autre bactérie.
- ➔ Le virus devient non virulent mais reste vecteur d'ADN.

2-2. Chez les eucaryotes

- ➔ Phénomène plus rare mais réel.
- ➔ Souvent lié aux virus.
- ➔ Exemple majeur : syncytine, gène d'origine virale impliqué dans la formation du placenta chez les mammifères. Autre exemple : Le lierre et l'arbre

2-3. En santé humaine

- ➔ Les transferts horizontaux expliquent l'apparition de bactéries multirésistantes (ex. staphylocoques).
- ➔ Problème majeur en milieu hospitalier (maladies nosocomiales).
- ➔ Utilisation contrôlée en biotechnologies (ex. production d'insuline).

3. Les endosymbioses

Définition : **Symbiose** : association durable bénéfique entre deux organismes.
Endosymbiose : l'un des organismes vit à l'intérieur de l'autre.

Rôle évolutif

Acquisition de nouveaux métabolismes
Augmentation de la complexité cellulaire
Étape majeure de l'évolution des eucaryotes

4. La théorie endosymbiotique

(Proposée par Lynn Margulis)

- ➔ Les mitochondries et les chloroplastes proviennent d'anciens procaryotes intégrés dans une cellule hôte.
- ➔ Ces organites sont dits semi-autonomes.

Arguments

- ➔ Double membrane
- ➔ ADN propre circulaire
- ➔ Ribosomes de type bactérien
- ➔ Division indépendante du noyau
- ➔ Transfert de gènes de l'endosymbionte vers le noyau → transfert horizontal ancien

Conclusion

La complexification des génomes repose sur :

- les transferts horizontaux, rapides et fréquents chez les procaryotes,
- les endosymbioses, mécanismes majeurs de l'évolution des eucaryotes.

Ces processus permettent l'acquisition de nouvelles fonctions biologiques, améliorent l'adaptation à l'environnement et expliquent une part essentielle de la diversité du vivant.



Chapitre 2 : La complexification du génome

Idées clés

structuration des idées (pouvant être accompagnées de schémas)

Argumentations

Transferts verticaux

Mutations dans lignée germinale → nouveaux allèles
Brassages génétiques → nouvelles associations d'allèles
Duplications → **nouveaux gènes (familles multigéniques)**

mécanismes absents chez les procaryotes

Voir CHAP 1

Universalité de la structure de l'ADN et du langage génétique permet le transfert de gènes entre espèces

Expériences de transgénèse → cours de 2nde (ex: souris verte)

Mis en évidence par Griffith sur souches de pneumocoques et complété par Avery, Mc Carthy Mc Léo → **Principe transformant**

Expériences historiques de Griffith et Avery → Activité 1

- Très fréquent chez les procaryotes → 3 mécanismes : conjugaison (via plasmides), transformation (via ADN libre), transduction (via virus) → **savoir faire les schémas!**
- Plus rare chez les eucaryotes (surtout via virus, ou lors de symbioses)

Exemple du gène de la syncytine placentaire → Cours ou Elysia → partie 3 TP-TD

Positif: Mécanismes utilisés de façon « artificielle » en biotechnologie et médecine → Transgénèse / OGM
Négatif: Engendre des résistances aux antibiotiques chez les bactéries (principalement par échanges de plasmides) → **infections nosocomiales**

Exemple de production d'insuline humaine par E. Coli → Cours

Les symbioses peuvent aboutir à une modification du génome par transfert de gènes d'une espèce à l'autre.

Effet de la sélection naturelle sur les populations de bactéries → Schémas / Cours

Si un des organismes symbiotiques est internalisé dans les cellules = **endosymbiose**.

Exemple du gène Pso d'Elysia / Vers de Roscoff → partie 3 TP-TD

Théorie endosymbiotique de l'apparition des eucaryotes (Lynn Margulis):
Mitochondrie = endosymbiose d'une protobactérie → acquisition respiration
Chloroplaste = endosymbiose d'une cyanobactérie → acquisition photosynthèse

Comparaisons des structures microscopiques et du fonctionnement des organites et des bactéries → Partie 2 TP-TD

Symbiose/ Endosymbiose

Transferts génétiques horizontaux entre mitochondries / chloroplastes et noyaux → appauvrissement de l'ADN mitochondrial et chloroplastiques (perte d'autonomie → organites semi-autonomes)

Comparaisons de l'ADN entre organites et bactéries → Partie 2 TP-TD

Comment le vivant peut-il se complexifier ?

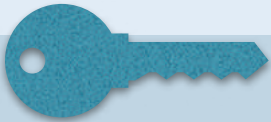
PROBLEME

Fiche de révision pour mieux réussir :

Problèmes du chapitre : Comment complexifier le génome d'une espèce, permettant une meilleure adaptation à l'environnement, à partir de nouveaux éléments génétiques ?

**Les définitions à connaître :**

- ★ Universalité de l'ADN
- ★ Principe transformant
- ★ Procaryotes / Eucaryotes
- ★ Transferts horizontaux
- ★ Transferts verticaux
- ★ Compétence
- ★ Transformation, conjugaison, transduction
- ★ Plasmide
- ★ Bactériophage, virus
- ★ Antibiorésistance, maladies nosocomiales
- ★ Gènes d'intérêt
- ★ Endosymbiose, endosymbionte
- ★ Théorie endosymbiotique (mitochondrie et chloroplastes)
- ★ Organites semi-autonomes

**Les notions clés à maîtriser (à savoir expliquer) :**

- ★ Universalité structurale et fonctionnelle de l'ADN ;
- ★ Transferts verticaux à comparer aux transferts horizontaux
- ★ Transformation, conjugaison et transduction
- ★ Apprentissage de l'antibiorésistance / Maladies nosocomiales
- ★ Endosymbiose et échanges entre les 2 acteurs
- ★ Théorie endosymbiotique ;

**Les méthodes et compétences travaillées**

- ★ ECE
- ★ Utilisation d'anagène
- ★ Interprétation d'expériences historiques
- ★ Observation d'endosymbiose

**Pour mieux mémoriser ou s'entraîner:**

- ★ L'essentiel dans votre livre p70 à 73 + Exercices se tester p74
- ★ Carte de mémorisation Anki
- ★ S'entraîner à refaire les schémas ou à les légender
- ★ S'entraîner à argumenter à l'aide d'expériences historiques ou d'arguments explicatifs
- ★ ECE : anagène et microscopes
- ★ QCM
- ★ Exercice corrigé dans votre livre

Exemples de sujet de synthèse :

- 1) Comment expliquer que l'endosymbiose puisse constituer un tournant dans l'évolution pour différentes espèces ? (Attention à un sujet couplé avec la photosynthèse ou la respiration)
- 2) Comment les espèces peuvent évoluer en complexifiant leur patrimoine génétique ?
- 3) Présenter les mécanismes de transferts génétiques

Dans le livre : p74