

Thème 1-A Génétique et Evolution

Classe : Terminales SPE
Durée envisagée : 4 semaines
Nombre de TP : 4

En rouge : Bilans à faire noter aux élèves

En bleu : Activités pratiques

En vert : Problématique et hypothèses



Chapitre 2 - La complexification des génomes

INTRODUCTION :

Les individus d'une même espèce sont produits, de génération en génération, par la **méiose** et la **fécondation (reproduction sexuée)** qui assure à la fois la diversification du génome mais en même temps la conservation du génome et du caryotype et donc la stabilité de l'espèce. Ces processus permettent des **transferts verticaux de gènes** (vers les descendants).

Néanmoins, au cours de l'évolution, les génomes subissent des transformations plus profondes qui génèrent de la diversité et qui aboutissent parfois à la création de nouvelles espèces. C'est le cas lors de **transferts de gènes horizontaux** : ce sont des transferts qui se font entre 2 espèces bien différentes et qui impliquent souvent des micro-organismes (virus, bactéries). Dans d'autres cas, les génomes sont encore plus fortement intriqués, il s'agit de phénomènes d'**endosymbiose**.

Pb : Comment les génomes sont-ils complexifiés au cours de l'évolution et comment aboutissent-ils à la formation de nouvelles espèces ?

Plan :

- 1- Les modalités transferts horizontaux de gènes
- 2- Les endosymbioses

TP4 : La complexification des génomes

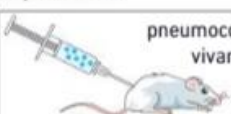
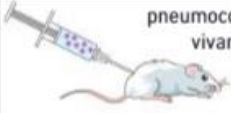
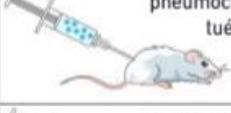
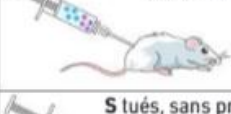
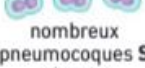
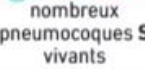
I- Les transferts horizontaux de gènes

1- La découverte des transferts de gènes chez les bactéries (doc 1 à 3 p58)

La découverte des transferts de gènes a été réalisée par Griffith et McLeod au début du XXème siècle. En effet, ils ont étudié des bactéries (pneumocoques) de 2 types : les S qui sont pathogènes et les R qui ne le sont pas. Or, lorsqu'ils ont mis en présence des bactéries S détruites par chauffage avec des bactéries R vivantes, ils ont constaté que les bactéries S devenaient virulentes et tuaient les souris.

Au milieu du XXème siècle (1944), McLeod et Avery démontrent que cette capacité d'acquisition de la virulence dépend de l'ADN. Pour cela, ils traitent les bactéries avec des enzymes qui dégradent l'ADN, l'ARN ou les protéines.

Enfin, on identifiera que les bactéries peuvent échanger du matériel génétique par un phénomène appelé « conjugaison bactérienne ». La bactérie « donneuse » va former un prolongement membranaire appelé pilus (pont cytoplasmique) qui va permettre l'échange d'ADN. C'est ce qui permet aux bactéries R de devenir virulentes car elles acquièrent un fragment d'ADN à l'origine de la virulence.

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  S tués	la souris survit 	absence de pneumocoques
4	 S tués + R vivants  S tués + R vivants	mort de la souris 	 nombreux pneumocoques S vivants
5	+ protéase  S tués, sans protéines + R vivants  S tués, sans protéines + R vivants	mort de la souris 	 nombreux pneumocoques S vivants
6	+ ADNase  S tués, sans ADN + R vivants  S tués, sans ADN + R vivants	la souris survit 	absence de pneumocoques

Les expériences 1 à 4 ont été réalisées par Griffith. Elles furent complétées par celles d'Avery, McLeod et McCarty en 1944 (expériences 5 et 6). Ces chercheurs ont injecté à des souris des pneumocoques de souches différentes (S et R) soit séparément, soit associées, afin d'en suivre les effets sur les souris.

Dans les expériences 5 et 6, les bactéries S sont tuées, puis broyées et traitées soit avec une protéase, soit avec une ADNase. La protéase est une enzyme qui détruit les protéines, l'ADNase, une enzyme qui détruit l'ADN.

Document 1 : Les expériences de Griffith, Avery et McLeod (doc 1 p64 BORDAS)

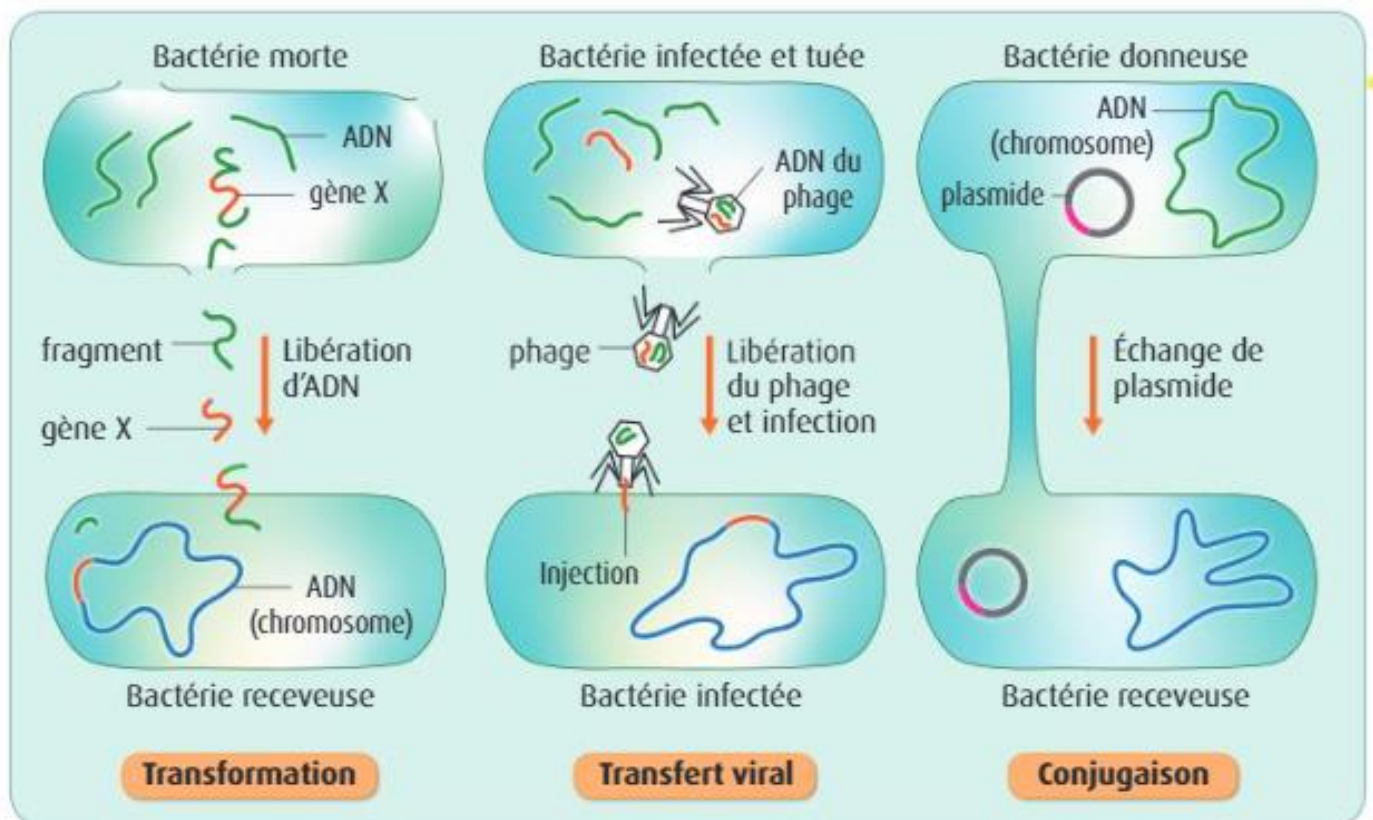
2- Différents processus de transferts de gènes

Lorsqu'un échange de gène se fait entre 2 êtres vivants d'espèces différentes, on parle de transfert horizontal de gènes. L'ADN étant universel, l'ADN reçu peut conduire à l'acquisition de nouveaux caractères qui s'ils sont avantageux conduisent à la sélection de l'individu modifié.

Ces événements sont assez fréquents et sont accumulés au cours de l'évolution (temps important). Ainsi, on estime que le génome humain contient entre 5 et 8% de gènes d'origine virale.

Les transferts de gènes sont possibles entre de nombreux êtres vivants :

- Les bactéries échangent du matériel génétique entre elles (conjugaison).
- Certaines bactéries peuvent transférer du matériel génétique vers les plantes (ex : *Agrobacterium*, une bactérie du sol. Elle est utilisée en laboratoire pour produire des OGM).
- Les virus (bactériophages) infectent les bactéries en leur transférant leur ADN
- Les rétrovirus (VIH, MPMV ...) introduisent leur matériel génétique (rétro-transcription puis intégration dans le génome). Le gène de syncytine 1 est issu d'un transfert de gène depuis le virus MPMV.



Document 2 : schémas de quelques mécanismes de transferts de gènes (Belin)

3- La reconstitution des transferts de gènes (p60-61)

Pour reconstituer les transferts de gènes au cours de l'évolution, on réalise le séquençage de divers génomes et/ou la recherche par PCR de gènes connus (évite de séquencer tout le génome). Dans ce cas, on constate que le gène présente une très forte ressemblance entre des individus assez différents (ex : 98% de ressemblance entre le gène de syncytine 1 humaine et celle du virus). Cette très forte ressemblance est le signe que ce gène provient d'un transfert horizontal (quasi instantané à l'échelle de l'évolution).

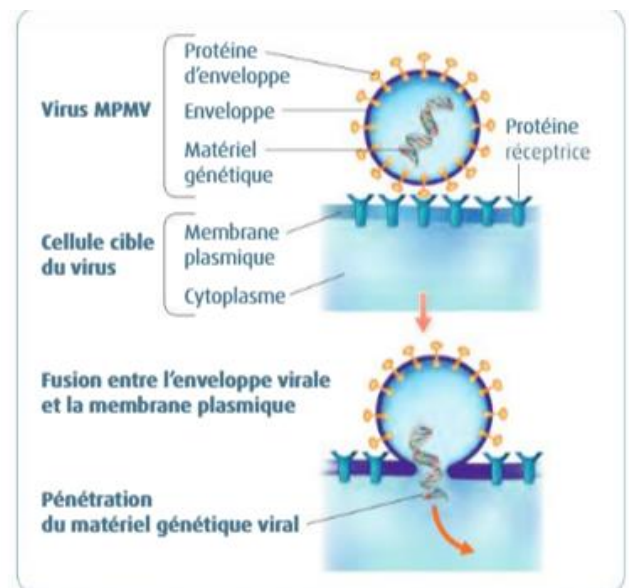
De plus, avec les séquences obtenues, on peut comparer les séquences (ADN ou protéine) pour réaliser un arbre phylogénétique. Généralement, l'arbre obtenu est similaire à l'arbre phylogénétique du groupe étudié car les différences génétiques. Celui-ci permet donc de :

- Placer l'événement de transfert de gène en fonction des espèces qui possèdent ce gène et celles qui ne le possèdent pas.
- Retracer les modifications qui ont affecté ce gène transféré au cours de l'évolution.

Exemple : la syncytine des Primates et celle du Mabuya + [Exercice SYNCYTINE](#)



1 Un mabuya. Ce lézard des Andes possède un placenta, c'est-à-dire une structure qui permet les échanges avec l'embryon et la mère lors de la gestation. Son placenta a une structure proche de celle du placenta des mammifères placentaires (voir doc. 4). En 2017, des chercheurs ont découvert que ce lézard possède un gène qui code une protéine appelée syncytine.



2 Infection d'une cellule par le virus MPMV.

J'utilise Anagène & Mapviewer

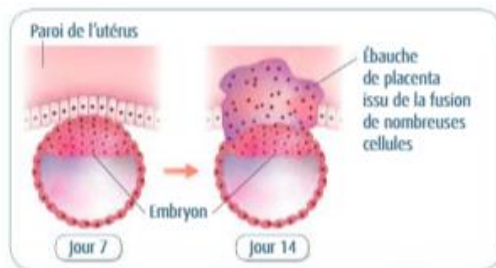
Traitement	<	>	0
Identités	>	>	0
Humain_Syncytin_pr	>	>	0
MPMV_Envel_prot	>	>	1
Sélection : 0/4 lignes			

425 430

ThrLeuGlnAspGlnLeuAsnSerLeuAlaAla
Asp- - - - ValAsp- - - Glu

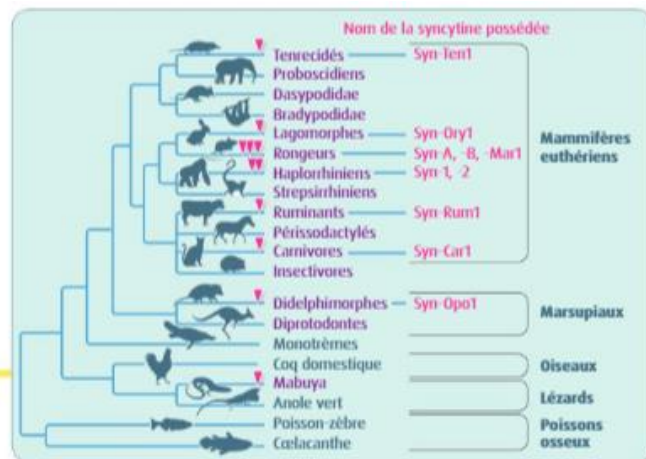
3 Comparaison de séquence de la syncytine humaine et de la protéine d'enveloppe du virus MPMV. Le MPMV infecte les primates. La syncytine est présente chez les grands singes. Chez la femme enceinte, elle est fortement exprimée dans le tissu placentaire. Les régions des protéines comparées ici sont identiques à 80 %. Le gène de la syncytine est issu d'un transfert horizontal du virus MPMV à l'ancêtre commun des grands singes.

Document 3 : Ensemble documentaire concernant le gène de syncytine (cf TP4)

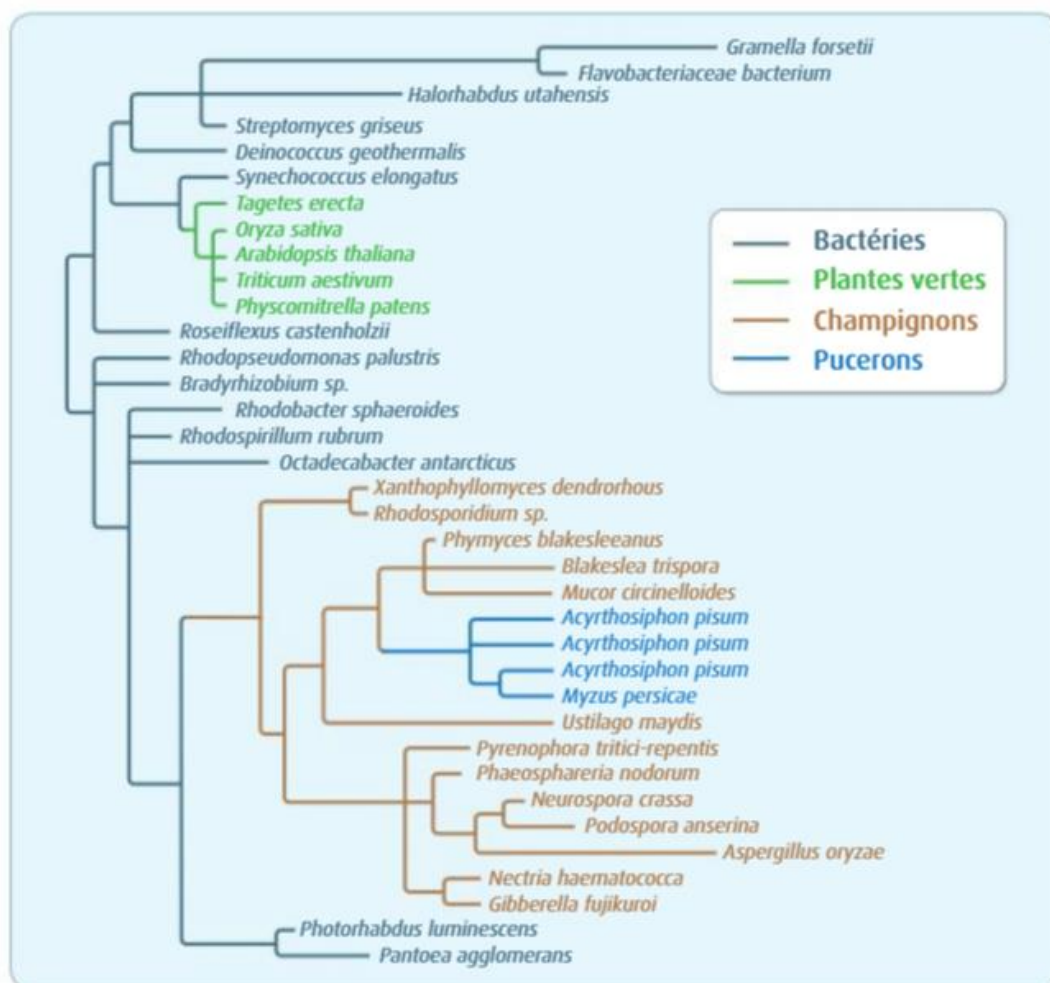


4 Formation du placenta chez l'humain.

5 **Arbre phylogénétique des vertébrés possédant un squelette osseux.** Les groupes qui possèdent une syncytine sont indiqués. Le triangle violet schématise un événement de transfert horizontal.



Exemple 2 : La synthèse des caroténoïdes chez les Pucerons



7 Phylogénie des enzymes à l'origine des caroténoïdes des pucerons.

Deux enzymes inhabituelles chez les animaux (caroténoïde désaturase et caroténoïde synthase) sont responsables chez les pucerons de la synthèse des caroténoïdes. Les gènes codant ces enzymes ont été séquencés et leur séquence a été comparée avec des enzymes similaires dans d'autres groupes d'êtres vivants. Cette comparaison a permis d'établir des arbres phylogénétiques. Celui de la caroténoïde synthase est figuré ci-dessous. Celui de la caroténoïde désaturase

Document 4 : Un transfert de gènes entre une plante et un puceron

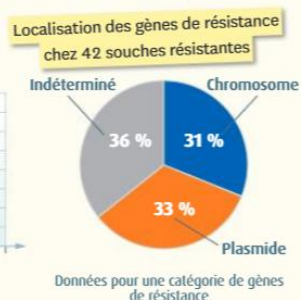
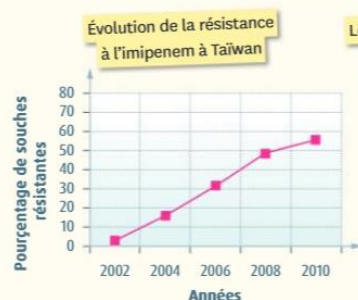
4- Les transferts de gènes et la santé humaine (p59)

Les transferts de gènes sont également importants en médecine. Les échanges se font en particulier sur des gènes « avantageux » en regard de la sélection naturelle. Pour les bactéries, il s'agit en particulier des gènes de résistance aux antibiotiques (voir 1ere SPE), ce qui produit des bactéries multi-résistantes contre lesquelles il est difficile de lutter (*E. coli* BLSE).

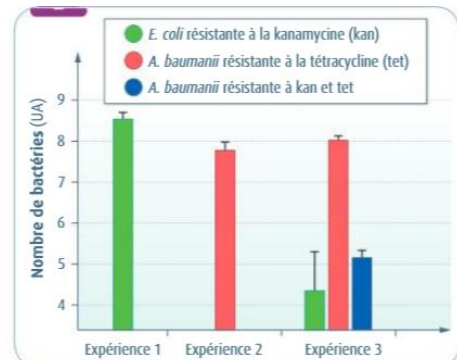


Acinetobacter baumannii est l'une des principales responsables d'infections nosocomiales (contractées en milieu hospitalier) chez les patients affaiblis. Elle cause notamment des pneumonies (mortalité des patients : 70 %). *A. baumannii* est également une bactérie « prédatrice » : elle peut

tuer et lyser des bactéries d'autres espèces présentes dans son milieu de vie. Plus de 60 % des souches d'*A. baumannii* à l'origine d'infections nosocomiales sont résistantes à de nombreux antibiotiques.



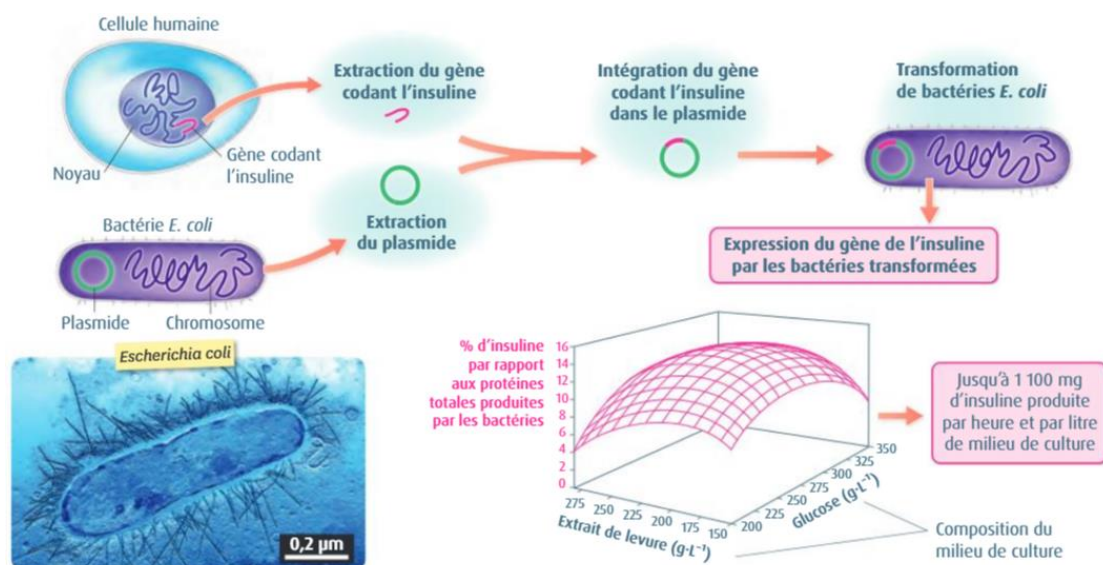
4 La résistance de la bactérie *Acinetobacter baumannii* aux antibiotiques.



5 Une expérience de transfert de résistance aux antibiotiques entre deux bactéries (2017). Les chercheurs disposaient d'une souche de bactéries *Escherichia coli* résistante à la kanamycine et d'une souche de bactéries *Acinetobacter baumannii* résistante à la tétracycline. Ils ont procédé à trois expériences : culture de *E. coli* seule (exp. 1), culture de *A. baumannii* seule (exp. 2), co-culture de *E. coli* et *A. baumannii* (exp. 3). Après 19 heures, de culture (ou co-culture), ils ont dénombré les différentes bactéries et étudié leur résistance à chacun des antibiotiques.

Document 5 : Transferts de gènes et résistances aux antibiotiques

D'autre part, les transferts de gènes sont utilisés en laboratoire pour permettre de comprendre le vivant (utilisation de protéines fusion avec des protéines fluorescentes GFP). De plus, ces transferts permettent d'envisager la production de molécules d'intérêt pharmacologique : par exemple des hormones humaines (insuline, hormone de croissance ...).



Document 6 : Transferts de gènes et bactérie OGM produisant l'insuline humaine

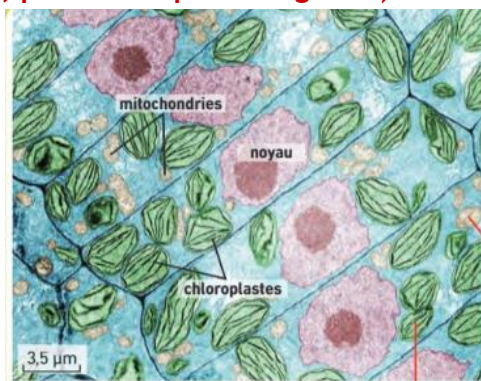
II- Les endosymbioses et la diversification du vivant (p60-61)

1- Les arguments en faveur de l'endosymbiose

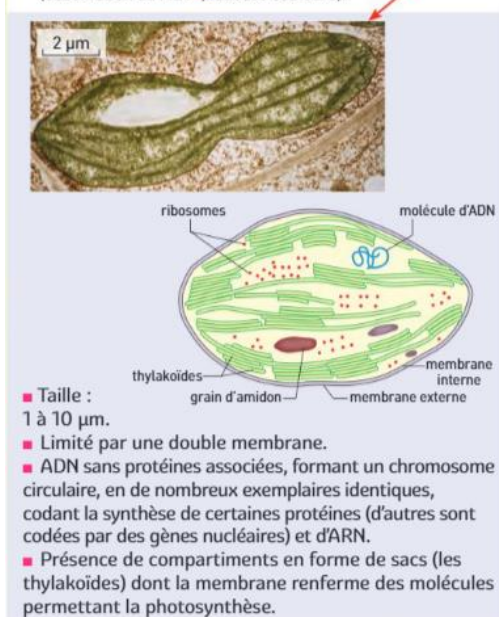
L'observation des chloroplastes et des mitochondries dans les cellules montre des éléments spécifiques qui ont permis d'envisager leur origine bactérienne :

- La taille des organites (1 à 5 μm , semblable à des bactéries)
- La présence de 2 membranes, l'interne fine (6 nm, ce qui est semblable aux membranes des procaryotes) et l'externe plus épaisse (7,5 nm, semblable aux eucaryotes)
- La présence de lipides spécifiques dans la membrane interne, typique des bactéries
- Leurs processus de division se fait par « étranglement » (scissiparité), ce qui est le cas chez les procaryotes.
- La présence d'ADN spécifique des chloroplastes et mitochondrie qui sont transcrits et traduits : on parle alors d'organites semi-autonomes.

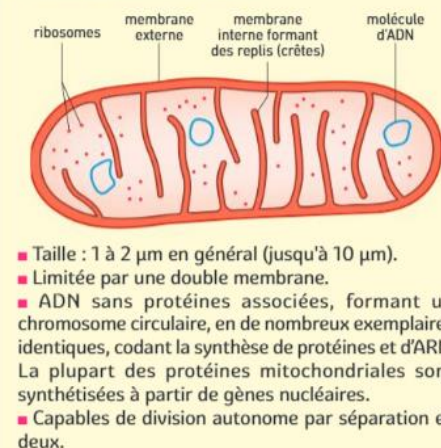
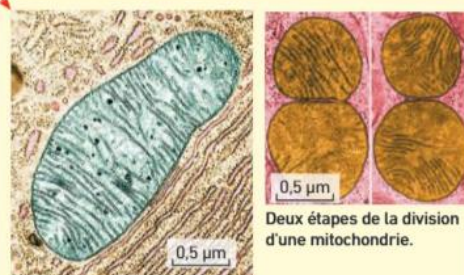
Toutes ces observations permettent de penser que les chloroplastes et mitochondries proviennent de l'intégration de micro-organismes comme les cyanobactéries (pour le chloroplaste) et les Protéobactéries alpha (pour la mitochondrie). On parle d'endosymbiose : chaque partenaire tire un bénéfice (production d'énergie pour la cellule, protection pour l'organite).



A Cellules végétales de lentilles d'eau (observation au MET*, fausses couleurs).



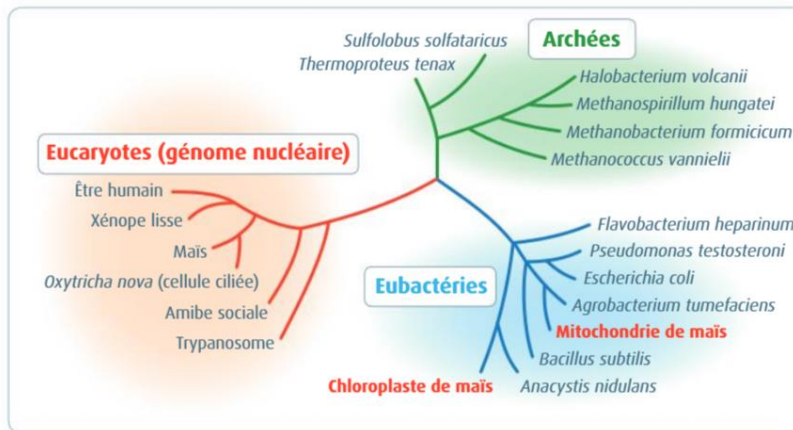
Le noyau des cellules eucaryotes contient l'essentiel de l'information génétique, répartie sur plusieurs molécules d'ADN associées à des protéines structurantes. Mais le cytoplasme comporte d'autres organites, spécialisés dans des fonctions spécifiques, comme les **mitochondries*** (sièges de la respiration cellulaire, présentes chez tous les eucaryotes) et les **chloroplastes*** (réalisant la photosynthèse, présents chez les eucaryotes de la lignée verte*). Ces organites sont délimités par un système membranaire et, curieusement, renferment aussi de l'ADN.



Document 7 : Chloroplastes et mitochondries, organites issus de l'endosymbiose

2- La phylogénie et les endosymbioses (doc 5p63)

De plus, l'analyse génétique des génomes des chloroplastes et mitochondrie montrent que leurs gènes sont très fortement apparentés à ceux des Procaryotes. En effet, l'ADN de mitochondrie de Maïs est proche de celui de bactéries comme *Agrobacterium*. Celui du chloroplaste est plus proche de cyanobactéries (photosynthétiques) de type *Synechococcus* ou *Anacystis*).



5 Position du génome des mitochondries et des chloroplastes au sein de l'arbre phylogénétique du vivant. Cet arbre a été obtenu par comparaison de la séquence de certains gènes présents chez tous les êtres vivants. Les chloroplastes et les mitochondries proviennent de cellules de maïs. La comparaison des séquences d'ADN montre une ressemblance avec l'ADN d' α -protéobactéries pour l'ADN des mitochondries et avec l'ADN de cyanobactéries pour l'ADN des chloroplastes. Ces données ont été confirmées chez d'autres êtres vivants eucaryotes.

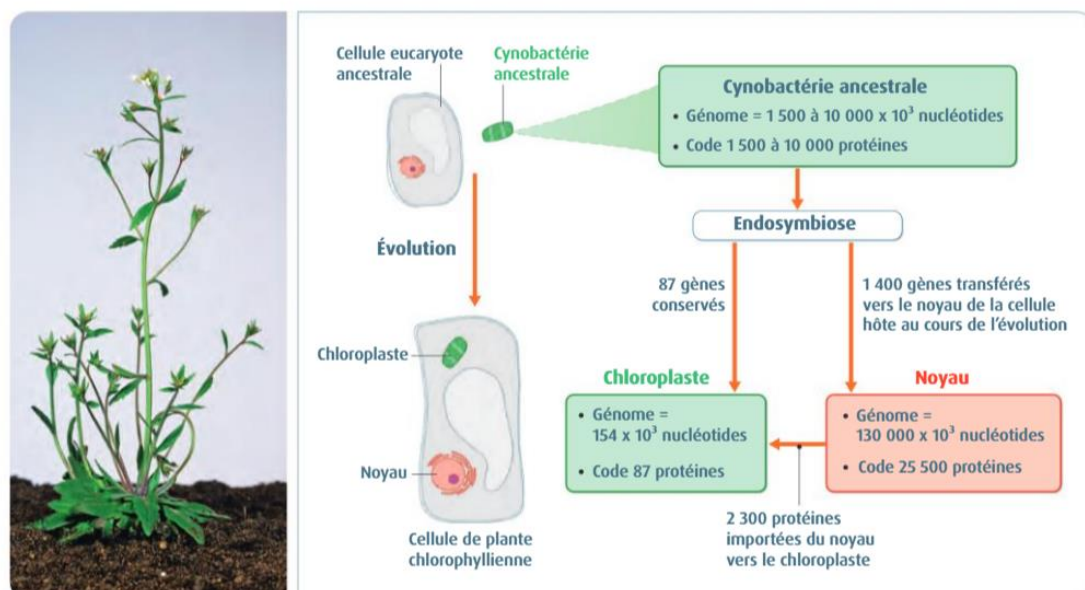
Document 8 : Arbre phylogénétique et place des mitochondries et chloroplastes

3- Les endosymbioses et le transfert des gènes vers le noyau (doc 6 et 7p63)

L'analyse génétique du génome de la cellule eucaryote montre qu'il contient de nombreux gènes proches des procaryotes cités précédemment. Les gènes des symbiontes ont été transférés vers le noyau. Plus de 1400 gènes de chloroplastes seraient présents dans l'ADN du noyau. Au contraire, l'ADN chloroplastique ne contient que 87 gènes. Ainsi, les organites semi-autonomes sont totalement dépendants de la cellule hôte. Les gènes de ces organites sont également transmis indépendamment de ceux du noyau : on parle d'hérédité cytoplasmique.

	Plus proche parent bactérien libre	Génome des organites
Mitochondrie	1600 gènes	67 gènes
Chloroplaste	1500 à 10 000 gènes	87 gènes

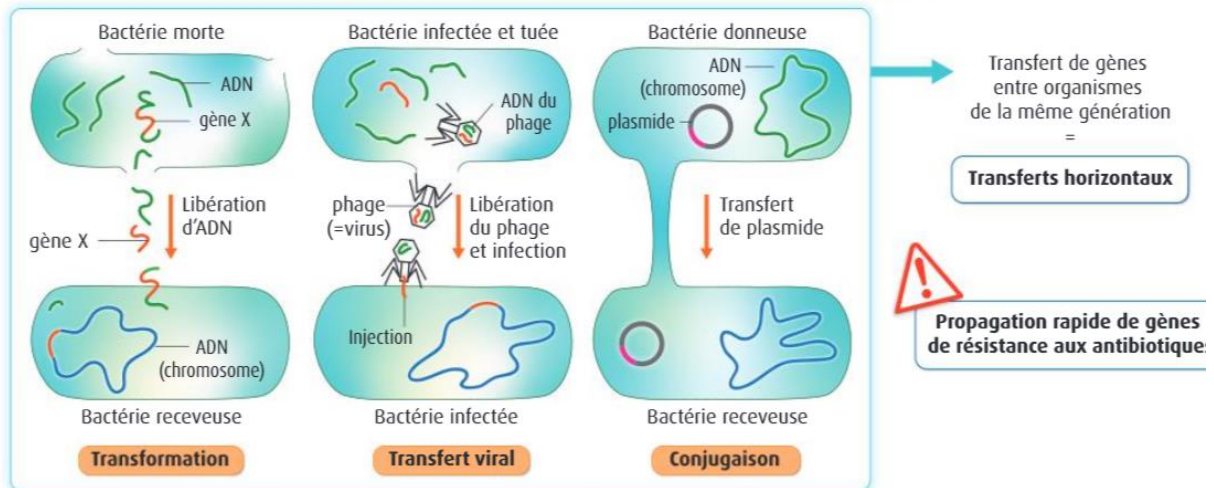
6 Nombre de gènes du génome des organites.



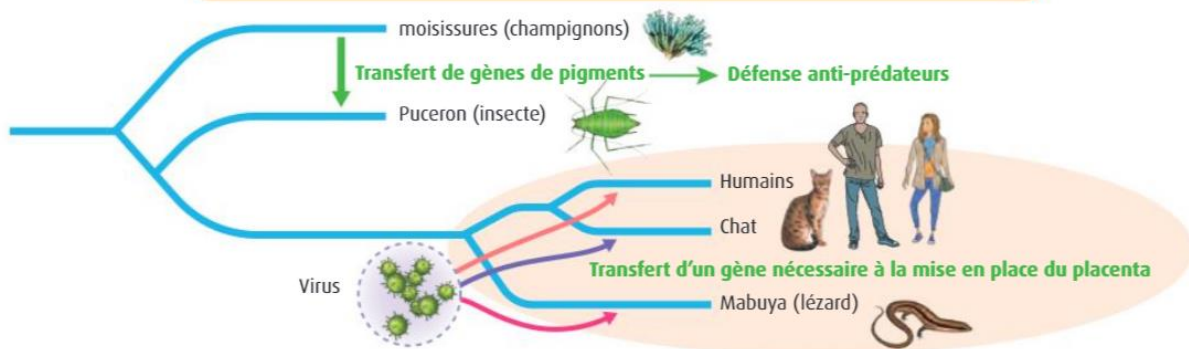
Document 9 : Endosymbiose et transferts de gènes vers la cellule hôte

CONCLUSION : Ainsi, les processus de transferts de gènes et d'endosymbiose sont à l'origine de la diversification du vivant et de la complexification des génomes. Ces événements complexifient notre compréhension de l'évolution et nous permettent d'envisager l'existence de « réseaux phylogénétiques » qui traduisent la complexité de l'histoire évolutive du vivant (évolution non linéaire).

Des transferts de gènes entre bactéries



Des transferts horizontaux fréquents dans l'arbre du vivant



Des endosymbioses à l'origine des mitochondries et des chloroplastes

