

F9 – Les endosymbioses et l'évolution des eucaryotes

La symbiose est définie comme une association durable, à bénéfices réciproques, entre deux êtres vivants appelés symbiotes. Lorsque l'un des partenaires vit à l'intérieur des tissus ou des cellules de l'autre partenaire, l'association est alors appelée endosymbiose. • Nous cherchons à étudier un cas actuel d'endosymbiose et à montrer l'importance de ce type d'association dans l'évolution des êtres vivants.

I – Un exemple d'endosymbiose actuel

Les pucerons sont des insectes parasites des plantes, qui se nourrissent en insérant leur rostre (pièce buccale) dans les tissus conducteurs de la sève élaborée*.

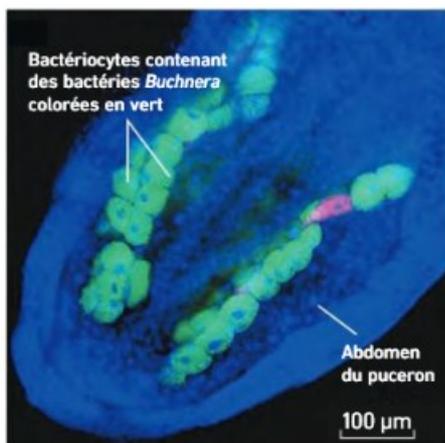
Les pucerons doivent ingérer quotidiennement cent fois leur poids de sève pour se procurer les nutriments dont ils ont besoin. Ils rejettent alors par leur anus un miellat sucré. Il leur manque cependant une dizaine d'acides aminés essentiels, qu'ils ne sont pas capables de synthétiser, et qui sont souvent absents de la sève élaborée (B).



A Puceron du pois se nourrissant.

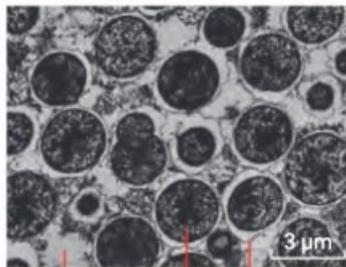
Composition	Sève élaborée
Glucides (surtout saccharose)	100 à 300 g·L ⁻¹
Acides aminés (surtout Glu, Asp, Gln, Asn)	5 à 40 g·L ⁻¹
Protéines	1,45 à 2,20 g·L ⁻¹
Ions minéraux	1 à 5 g·L ⁻¹

B Composition de la sève élaborée.



C Abdomen de puceron (microscopie optique en fluorescence : en vert, *buchnera aphidicola*) et détail de l'intérieur d'un bactériocyte (MET*).

Près de leur tube digestif et des ovaires, les pucerons du pois possèdent des cellules géantes, les bactériocytes, contenant environ 10 millions de bactéries *Buchnera aphidicola*. Chaque bactérie est contenue dans une vésicule de la cellule hôte, appelée symbiosome (C).



cytoplasme du bactériocyte, *Buchnera*, symbiosome

Buchnera ne peut vivre et se reproduire sans son hôte, qui lui procure protection et nutriments. Son génome d'environ 900 gènes est réduit et dégénéré, comparativement à celui d'une bactérie proche, *E. coli* (5 000 gènes). *Buchnera* a perdu par exemple des gènes impliqués dans la formation de la paroi bactérienne, dans la perception du milieu et la résistance aux agents stressants*. Mais il a conservé des gènes permettant la synthèse d'acides aminés essentiels et de vitamines.

La relation symbiotique de *Buchnera aphidicola* aux pucerons aurait débuté il y a 250 à 150 millions d'années. La transmission de ces bactéries se fait de façon verticale, du puceron femelle vers ses œufs ou embryons.

Expériences	Résultats
Pucerons en symbiose avec <i>Buchnera</i> , élevés sur un milieu dépourvu des dix acides aminés essentiels.	Les pucerons se développent et se reproduisent.
Traitement antibiotique tuant les bactéries <i>Buchnera</i> .	Les pucerons se développent mal et deviennent stériles.
Pucerons traités par l'antibiotique et auxquels on fournit une alimentation contenant les dix acides aminés essentiels.	Régression des symptômes.
Pucerons symbiotiques élevés dans un milieu enrichi en soufre et en azote marqués.	Des acides aminés marqués apparaissent au sein des bactéries, puis sont identifiés chez les pucerons.

D Étude expérimentale.

d'après Bordas spécialité svt 2020

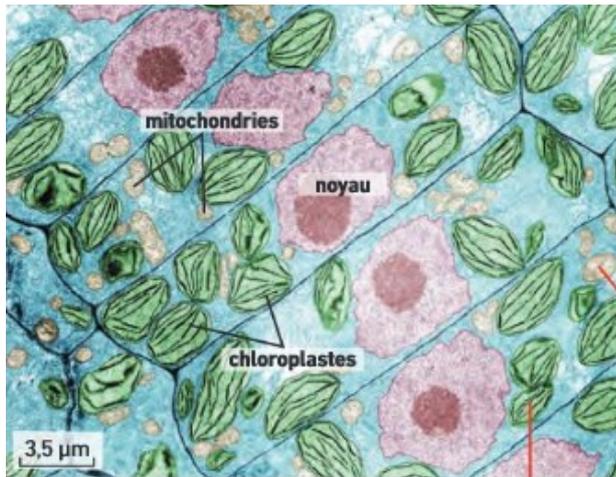
- 1 – Justifiez le terme d'endosymbiose dans le cas des pucerons et de leurs bactéries.
- 2 – Montrez que cette association présente des contraintes mais apporte des avantages sélectifs aux symbiotes
- 3 – Relevez des arguments attestant de modifications des génomes des symbiotes induites par l'association.

II – Endosymbiose et évolution des eucaryotes

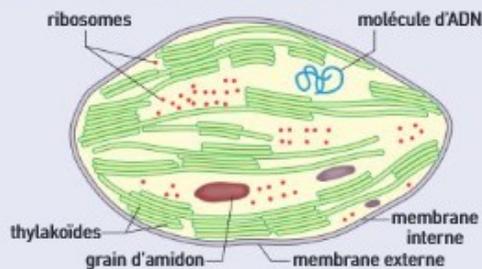
Les cellules eucaryotes possèdent différents organites, comme le noyau, les mitochondries (siège de la respiration cellulaire produisant l'énergie nécessaire à la vie des cellules) ou les chloroplastes (siège de la photosynthèse dans les cellules chlorophylliennes). Différentes études montrent que la présence des mitochondries et des chloroplastes dans les cellules eucaryotes actuelles résulterait de phénomènes d'endosymbiose très anciens : théorie de Lynn Margulis.

1 – Relevez des arguments en faveur de la théorie de Lynn Margulis (documents 1 et 2)

Document 1 : les cellules eucaryotes, des cellules compartimentées



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

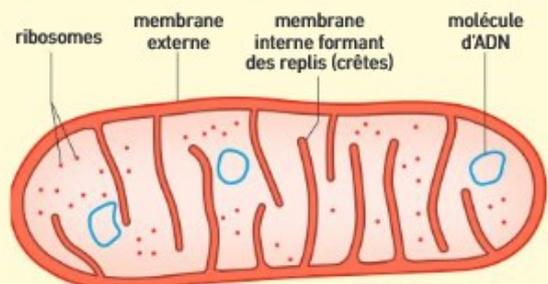
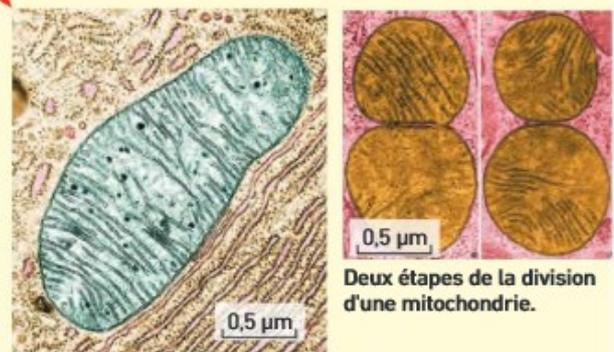


- Taille : 1 à 10 µm.
- Limité par une double membrane.
- ADN sans protéines associées, formant un chromosome circulaire, en de nombreux exemplaires identiques, codant la synthèse de certaines protéines (d'autres sont codées par des gènes nucléaires) et d'ARN.
- Présence de compartiments en forme de sacs (les thylakoïdes) dont la membrane renferme des molécules permettant la photosynthèse.

B Chloroplaste (observation au MET et caractéristiques).

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.



- Taille : 1 à 2 µm en général (jusqu'à 10 µm).
- Limitée par une double membrane.
- ADN sans protéines associées, formant un chromosome circulaire, en de nombreux exemplaires identiques, codant la synthèse de protéines et d'ARN. La plupart des protéines mitochondriales sont synthétisées à partir de gènes nucléaires.
- Capables de division autonome par séparation en deux.

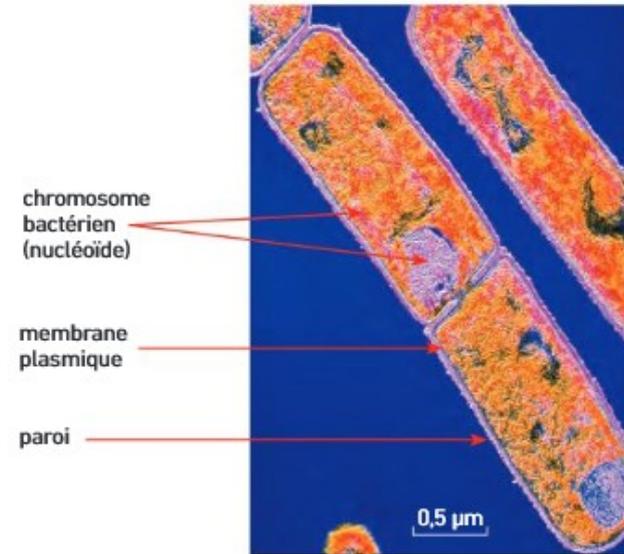
C Mitochondrie (observations au MET et caractéristiques).

d'après Bordas spécialité svt 2020

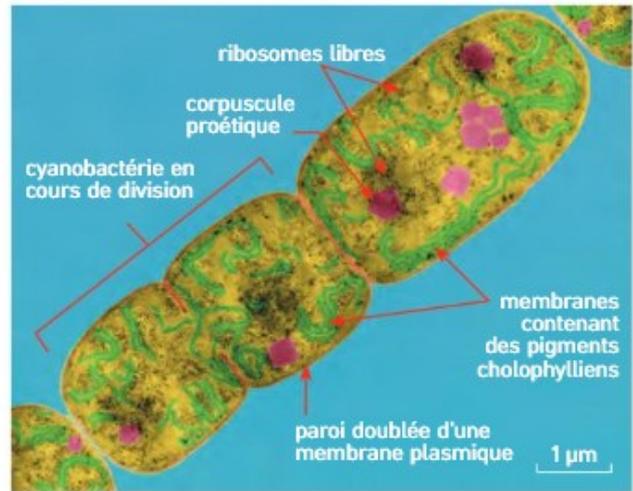
Document 2 : l'organisation des cellules bactériennes

La plupart des bactéries sont entourées d'une paroi chimiquement complexe, doublée intérieurement par une membrane plasmique entourant le cytoplasme et son contenu. Elles constituent des cellules non compartimentées, dépourvues de noyau : leur ADN est nu, organisé en un chromosome circulaire au contact direct du cytoplasme où se fait la synthèse protéique grâce aux ribosomes. Elles possèdent également des

petites molécules d'ADN circulaires, les plasmides, qui se répliquent indépendamment du chromosome. Leur reproduction se fait par simple division d'une cellule qui réplique son chromosome bactérien, s'allonge avant de se diviser en deux cellules filles dotées d'une membrane et d'une paroi. Elles pratiquent des métabolismes variés : respiration, fermentations*, photosynthèse ou chimiosynthèse*.



A Bactérie (*Bacillus subtilis*) en cours de division (MET).

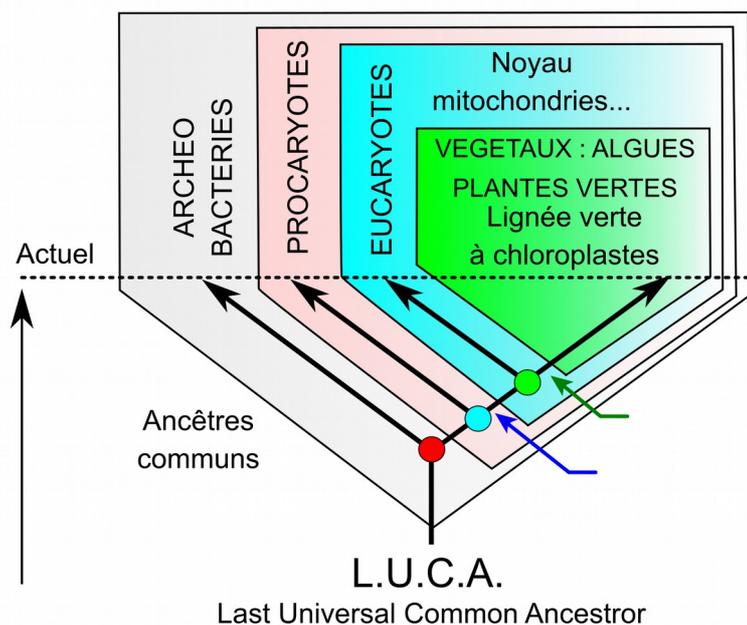


B Cyanobactérie filamenteuse photosynthétique (*Nostoc*), observée au MET.

d'après Bordas spécialité svt 2020

2 – Placer sur l'arbre phylogénétique ci-dessous l'acquisition des chloroplastes et des mitochondries par les cellules

Les **archées**, anciennement appelés archéobactéries, sont des micro-organismes unicellulaires procaryotes, c'est-à-dire des êtres vivants constitués d'une cellule unique qui ne comprend ni noyau ni organites, à l'instar des bactéries. Elles se reproduisent de manière asexuée et produisent leur énergie par la fermentation dont le rendement énergétique est bien inférieur à celui de la respiration cellulaire.



3 – En quoi l'acquisition des chloroplastes et des mitochondries constitue-t-elle un avantage évolutif pour les cellules ?

4 – L'endosymbiose s'est accompagnée d'une diminution du nombre de gènes des organites par rapport aux bactéries initiales (voir tableau de comparaison). Proposez des hypothèses permettant d'expliquer ces différences.

Organite ou organisme	Espèce	Taille du génome (10 ³ nucléotides)	Nombre de gènes codant pour des protéines
Chloroplaste	Tabac	156	76
	Riz	134	76
	Maïs	140	76
	Pin	120	69
Cyanobactérie	Nostoc	6 413	5 368
	<i>Synechocystis</i>	3 573	3 168
Mitochondrie	Laminaire	38	39
	Arabette	367	31
α-protéobactérie	Caulobacter	4 017	3 767
	<i>Mesorhizobium</i>	7 596	7 281

Comparaison des tailles des génomes d'après Nathan 2020