

Les autres mécanismes de la diversification et de l'évolu...

Cours

Sommaire

I La complexification des génomes

A Les transferts horizontaux de gènes

1. Les transferts horizontaux bactériens
2. Les transferts horizontaux par virus
3. Le rôle des transferts horizontaux dans l'évolution et sur la santé

B La place de l'endosymbiose dans la diversification du vivant et l'évolution

II Les autres mécanismes contribuant à la diversité du vivant

A Les associations symbiotiques

B Les modifications comportementales

III L'étude des phylogénies

RÉSUMÉ

La diversification du vivant peut s'effectuer de différentes manières par complexification des génomes. Des mécanismes d'innovation génétiques autres que la reproduction sexuée sont impliqués. C'est le cas des transferts horizontaux de gènes. Des innovations non génétiques, telles que des associations symbiotiques ou l'acquisition de nouveaux comportements, participent également à la diversification du vivant. L'évolution des espèces ainsi que leur parenté peuvent être étudiées par la phylogénie.

I La complexification des génomes

La complexification des génomes repose sur la transmission de matériel génétique en dehors de la filiation. L'apparition d'un nouveau gène dans une espèce contribue à la diversification du vivant. L'enrichissement des génomes peut se produire par des transferts horizontaux de gènes. Des associations entre espèces par endosymbiose sont au cœur de l'évolution.

A Les transferts horizontaux de gènes

Les transferts horizontaux de gènes permettent l'acquisition de gènes nouveaux de parent à descendant. Les transferts horizontaux de gènes sont observés chez les bactéries. Ils peuvent également se produire chez les autres organismes, par l'intermédiaire de virus. Les transferts horizontaux participent à l'évolution des populations et des écosystèmes et peuvent avoir des impacts sur la santé.

1. Les transferts horizontaux bactériens

Les bactéries peuvent, par des mécanismes de transformation ou de conjugaison, échanger des gènes. On parle de transferts horizontaux bactériens. La bactérie receveuse acquiert de nouvelles fonctions, la transmet à sa descendance, et participe ainsi à la biodiversité.

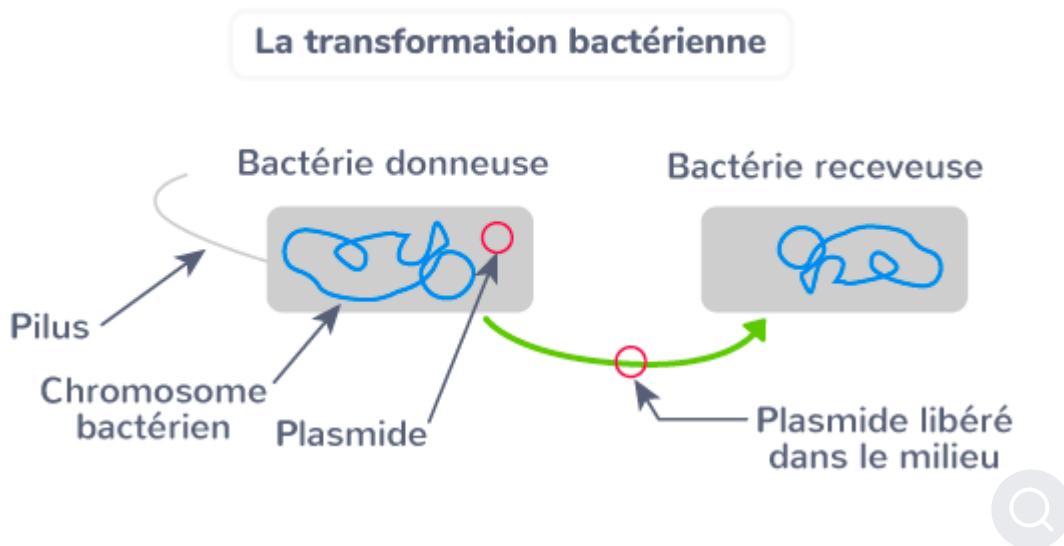
Les bactéries présentent des mécanismes de reproduction conforme (réplication de l'ADN, puis division). Il s'agit d'une transmission « verticale » de l'information génétique, de parents à descendants.

Les bactéries sont également capables de se transférer une information génétique de manière « horizontale », c'est-à-dire entre deux individus non apparentés.

Deux modes de transferts horizontaux de gènes peuvent se présenter chez les bactéries :

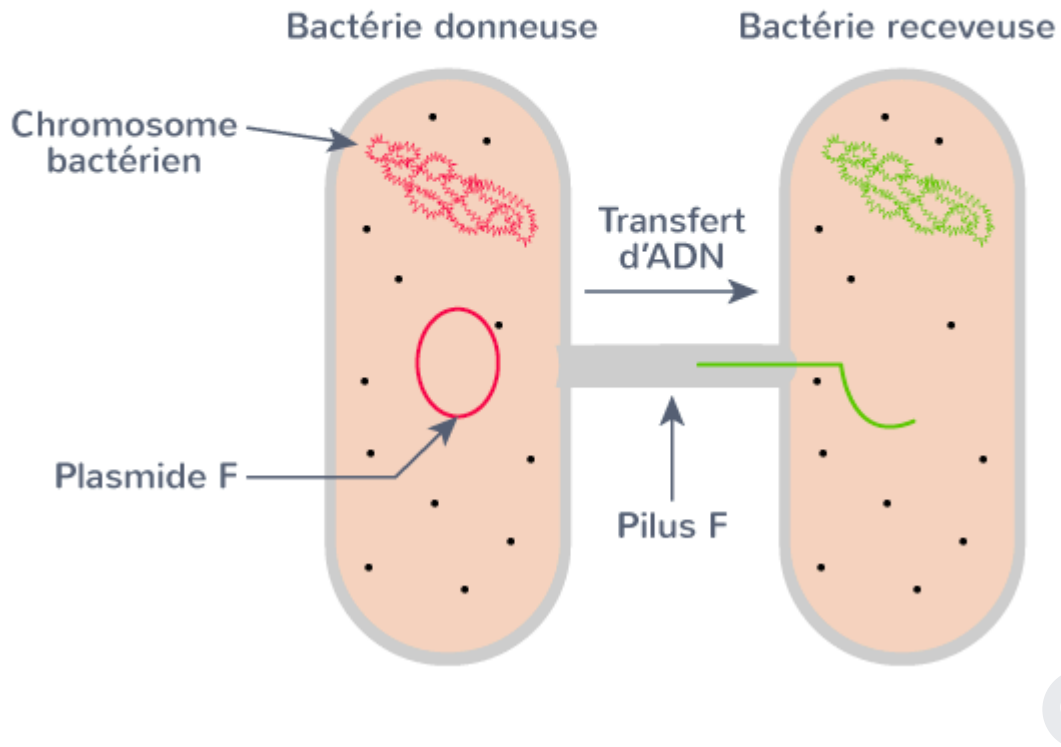
- la transformation bactérienne ;
- la conjugaison bactérienne.

La transformation bactérienne consiste en des échanges de « mini-chromosomes » bactériens nommés plasmides. Les milliards de bactéries qui peuplent le sol échangent très fréquemment des gènes de cette façon. Le transfert de gènes est laissé un peu « au hasard » et passe par l'environnement.



La conjugaison bactérienne est un transfert d'ADN d'une bactérie donneuse, porteuse de plasmide F, à une bactérie receveuse par l'intermédiaire d'un pilus. Ce phénomène est appelé une parasexualité : le transfert de gène s'effectue directement de la donneuse à la receveuse sans fécondation.

La conjugaison bactérienne



2. Les transferts horizontaux par virus

Des transferts horizontaux peuvent également se produire par l'intermédiaire de virus. On parle alors de transferts horizontaux par virus. Ce type de transfert enrichit le génome de l'organisme receveur et accroît la diversité génétique de son espèce.

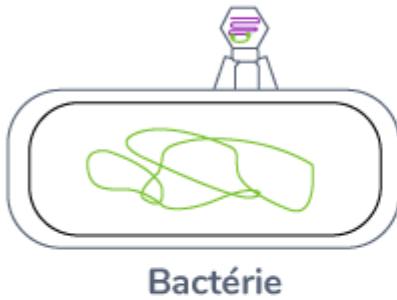
Les virus peuvent également constituer un moyen de transfert horizontal d'ADN entre deux individus. Lors de son cycle de reproduction, un virus injecte à une cellule hôte son information génétique. Celle-ci est intégrée sous forme d'ADN dans l'ADN de cette cellule hôte. Cet ADN viral est alors répliqué, transcrit et traduit afin de fabriquer des protéines virales. C'est ainsi que se constituent des dizaines, voire des centaines de nouvelles particules virales, composées d'une partie protéique (la capside) entourant l'information génétique.

Toutefois, il arrive qu'un virus, au cours de ce cycle, emporte avec lui une partie des gènes de la cellule qu'il a infectée. En infectant une autre cellule, il peut lui apporter de nouveaux gènes, contribuant ainsi à l'enrichissement du génome de cette cellule receveuse.

Lorsque ce sont des bactéries qui subissent ce transfert de gènes, on parle de transduction par un vecteur viral.

La transduction bactérienne

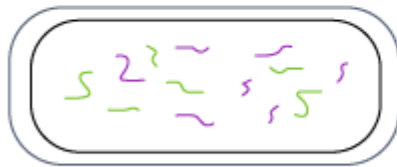
Bactériophage



Bactérie

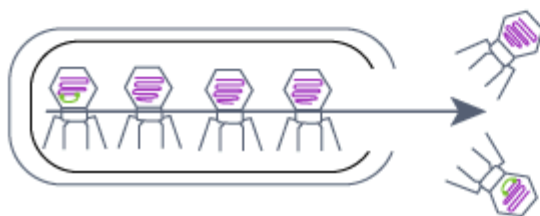
Étape 1

Fixation du virus sur la bactérie



Étape 2

Pénétration de l'ADN viral, hydrolyse du chromosome bactérien



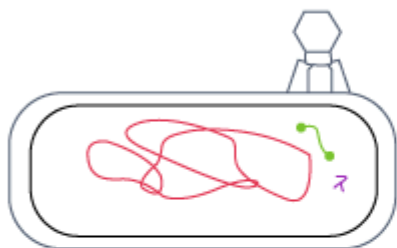
Étape 3

Formation de nouvelles particules virales, certaines emportant avec elles des morceaux de l'ADN bactérien



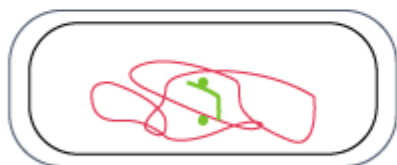
Étape 4

Infection d'une nouvelle bactérie



Étape 5

Injection de l'ADN viral recombiné



Bactérie au génome recombiné

Étape 6

La bactérie a acquis une nouvelle information génétique

■ ADN viral

■ ■ ADN bactériens



3. Le rôle des transferts horizontaux dans l'évolution et sur la santé

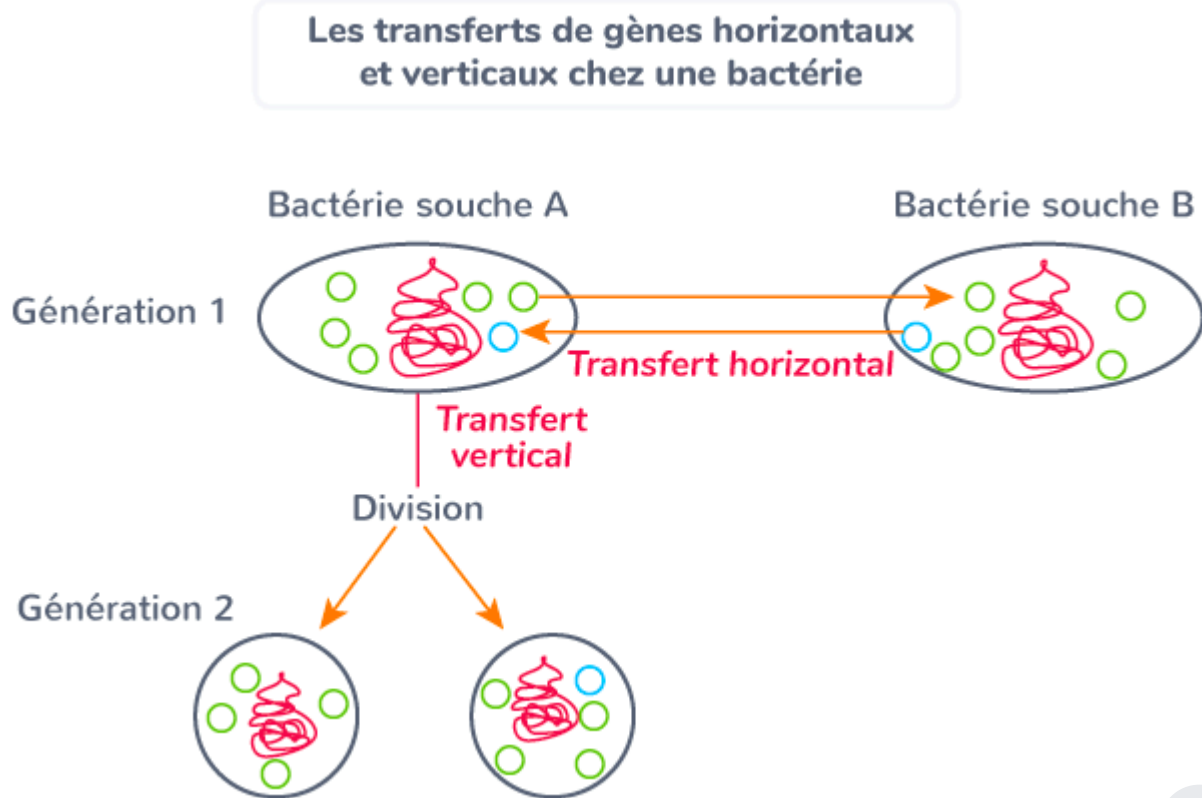
Les transferts horizontaux peuvent avoir des conséquences importantes, en termes d'évolution. Ils peuvent également avoir des impacts sur la santé : la transmission de certaines résistances aux antibiotiques en est un exemple.

Les transferts horizontaux permettent d'enrichir le génome des organismes receveurs. De nouveaux gènes font apparaître de nouveaux caractères qui permettent une meilleure adaptation des organismes à leur environnement. Les transferts horizontaux ont donc un lien avec l'évolution des espèces.

EXEMPLE

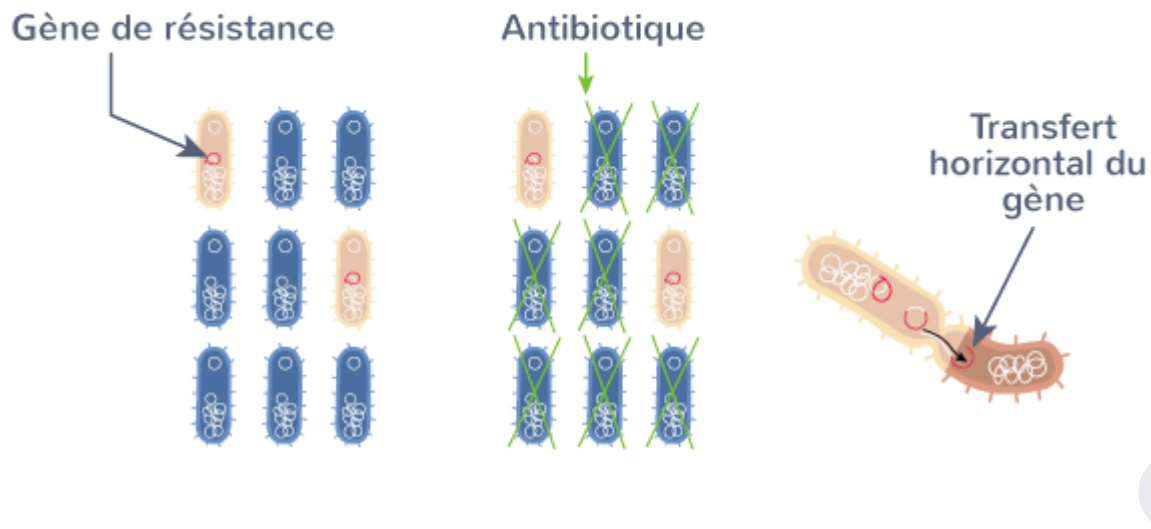
Le gène de la syncytine, qui permet la formation du placenta, a été transmis horizontalement à nos ancêtres évolutifs par l'intermédiaire de virus. Cet apport a contribué à l'apparition du groupe des mammifères, événement important de l'évolution animale.

Une bactérie possédant un gène permettant la résistance à un antibiotique peut le transmettre non seulement à ses descendants (constitution classique d'un clone bactérien), mais également à d'autres bactéries vivant dans le même environnement.



L'utilisation excessive des antibiotiques peut conduire à la multiplication des phénomènes de résistance, mais aussi à l'apparition de bactéries multirésistantes, responsables d'infections très difficiles à traiter. C'est la raison pour laquelle les antibiotiques doivent être utilisés avec beaucoup de prudence.

Les transferts de gènes horizontaux et verticaux chez une bactérie



B La place de l'endosymbiose dans la diversification du vivant et l'évolution

L'endosymbiose est la symbiose d'une cellule dans une autre cellule. L'endosymbiose permet l'apparition des organites semi-autonomes : mitochondries et chloroplastes. Une hérédité fondée sur l'ADN de ces organites apparaît alors : l'hérédité cytoplasmique. L'hérédité cytoplasmique participe à la diversité des êtres vivants apparus au cours de l'évolution.

DÉFINITION

Symbiose

Une **symbiose** est une association durable entre deux espèces, dans laquelle chacune d'elles trouve un bénéfice.

L'endosymbiose est une forme particulière de symbiose, dans laquelle l'un des partenaires vit dans l'autre partenaire.

Les deux grandes voies métaboliques que sont la respiration et la photosynthèse sont assurées par des organites spécifiques, qui sont respectivement les mitochondries et les chloroplastes. L'existence de ces organites, propres aux cellules eucaryotes, résulte de mécanismes d'endosymbiose.

L'origine de ces organites viendrait de la transformation de bactéries qui auraient formé une endosymbiose avec les cellules ancêtres des cellules eucaryotes. De nombreuses observations confortent cette théorie d'une origine endosymbiotique :

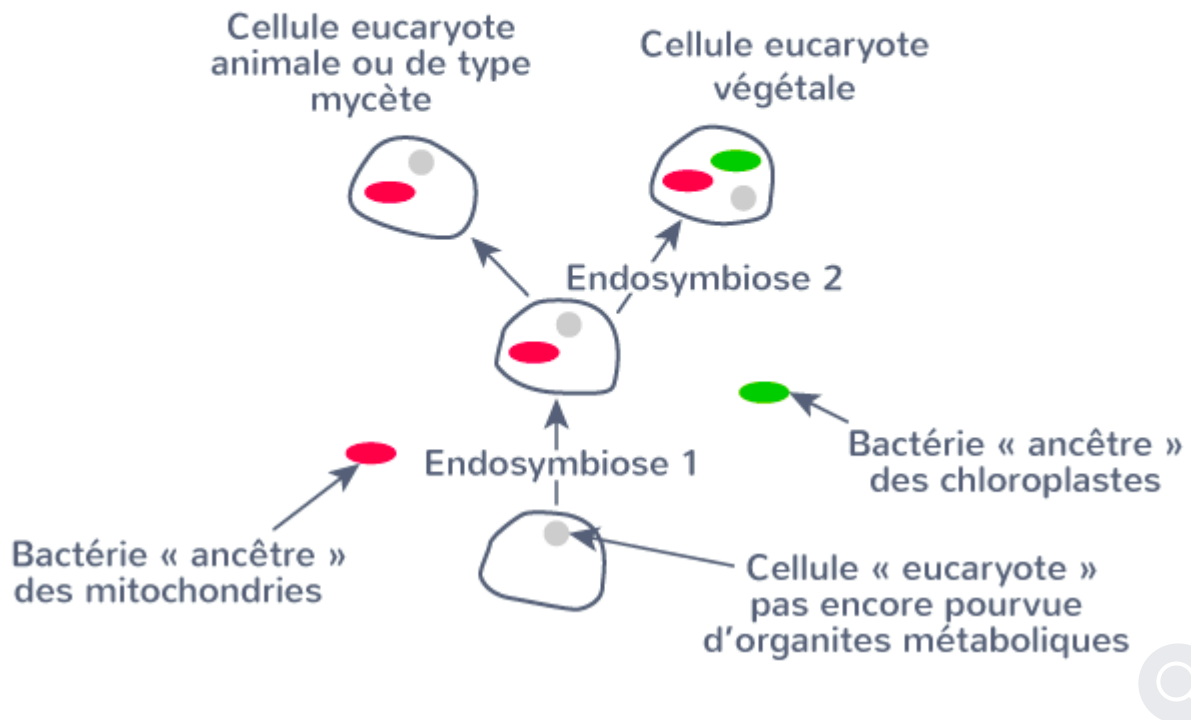
- Présence d'une double membrane limitant ces organites.
- Présence d'ADN dans ces organites. Cela signifie qu'il existe une hérédité liée à la présence d'ADN extranucléaire. L'ADN des chloroplastes et des mitochondries a les mêmes caractéristiques que de l'ADN circulaire bactérien.
- Présence de ribosomes dans ces organites. Mitochondries et chloroplastes sont capables de synthétiser une partie de leurs propres protéines. Les ribosomes des chloroplastes et des mitochondries ont les mêmes caractéristiques que les ribosomes bactériens.

DÉFINITION

Hérédité cytoplasmique

L'hérédité cytoplasmique est la transmission verticale des caractères héréditaires par l'ADN et les gènes contenus dans les mitochondries et les chloroplastes, c'est-à-dire hors du noyau. L'endosymbiose ancienne a été un élément déterminant de l'évolution. Elle a permis de doter les cellules eucaryotes d'organites capables de générer un métabolisme particulièrement efficace. Les cellules eucaryotes sont désormais répandues sur l'ensemble de la planète, de l'éponge jusqu'aux séquoias, en passant par toutes les autres espèces.

Une histoire simplifiée de l'origine des organites endosymbiotiques



II Les autres mécanismes contribuant à la diversité du vivant

La diversification du vivant peut aussi être liée à des mécanismes non génétiques. Des associations symbiotiques et des modifications comportementales sont impliquées.

A Les associations symbiotiques

Les associations symbiotiques sont des associations mutualistes entre deux organismes. Elles permettent aux deux organismes de bénéficier l'un de l'autre.

L'association symbiotique a pour effet une diversification du vivant : elle permet aux organismes associés de coloniser des milieux de vie dans lesquels ils ne pourraient se développer seuls.

Dans ce cas, il n'y a pas transfert de gène, mais formation d'un nouvel organisme.

EXEMPLE

Les lichens résultent d'une association symbiotique entre une algue et un champignon. L'algue nourrit le champignon par la photosynthèse qu'elle assure, tandis que le champignon synthétise des molécules protectrices qui permettent à l'algue de vivre en dehors du milieu aquatique. Il n'y a pas

échange ou transfert de gènes, mais association des deux organismes permettant la colonisation de la terre ferme par l'algue.

Un lichen



Association symbiotique entre une algue et un champignon

© Wikimedia Commons



B Les modifications comportementales

Certaines modifications du comportement sont transmissibles par un apprentissage. Il s'agit de mécanismes de diversification du phénotype qui s'effectuent sans modification du génome. Ils peuvent conduire à l'apparition d'espèces nouvelles. Les descendants acquièrent des comportements nouveaux par l'interaction avec des membres de leur famille. Cette transmission et cette évolution culturelles résultent d'une hérédité non liée à l'ADN.

Les exemples sont nombreux de variations, d'innovations, voire d'apparition d'espèces nouvelles liées à des modifications comportementales. Lorsque les comportements nouveaux peuvent être appris aux jeunes par les parents ou les plus anciens de l'espèce, on parle d'hérédité non fondée sur l'ADN.

Les nouveaux comportements qui apparaissent au sein d'une population peuvent conduire à un isolement des individus ayant adopté ce comportement. Ceux-ci se reconnaissent et ne se reproduisent plus qu'entre eux. Ils n'échangent plus de matériel héréditaire avec les autres individus de la population. La sous-population qui s'isole peut finalement mener à l'apparition d'une espèce nouvelle.

EXEMPLE

Les oiseaux n'ont pas tous le même chant au sein d'une espèce. Les femelles s'accouplent avec les mâles dont elles reconnaissent le chant. Cela peut conduire à la formation de deux groupes d'oiseaux qui évoluent de façon divergente, jusqu'à former deux espèces distinctes.

Les apprentissages permettent une transmission de caractères comportementaux et culturels nouveaux. Celle-ci peut s'effectuer au sein même d'une famille et ne repose pas sur l'ADN.

EXEMPLE

Chez les Macaques japonais, certains individus lavent les patates douces dans l'eau de mer, alors que d'autres ne le font pas. Ce comportement, observé pour la première fois en 1953, s'est ensuite répandu chez les parents et les descendants de la première femelle (Imo). Il y a donc eu apprentissage. Une innovation génétique est ainsi apparue puis s'est répandue, sans mécanismes génétiques.

Famille de Macaques japonais



© Wikimedia Commons

III L'étude des phylogénies

Les phylogénies permettent de déterminer les proximités entre espèces grâce à des représentations en arbres schématiques. Dans un arbre phylogénétique, ce ne sont pas les filiations qui sont recherchées (qui descend de qui) mais les proximités évolutives (qui est le plus proche parent de qui). Une phylogénie se construit à partir d'espèces, toujours placées en bout de « branche » et reliées par des ancêtres communs théoriques. Il est possible de faire apparaître sur les branches les innovations évolutives.

Un arbre phylogénétique permet de comprendre les mécanismes évolutifs qui se sont déroulés au cours du temps, et de repérer l'apparition des innovations, génétiques ou non génétiques.

EXEMPLE

En reprenant l'exemple de l'origine endosymbiotique des organites métaboliques intracellulaires, une phylogénie regroupant trois espèces peut être présentée :

- E. coli, une bactérie, dépourvue de noyau ;
- un chêne, organisme eucaryote possédant des mitochondries et des chloroplastes ;
- un chat, organisme eucaryote possédant des mitochondries.

Une phylogénie peut montrer les innovations évolutives

