

Chapitre 1

Regards sur les organismes unicellulaires

Cours

PLAN DU CHAPITRE

- 1 Places des unicellulaires dans l'arbre du vivant
- 2 Réalisation des fonctions avec une seule cellule
- 3 Relations des unicellulaires avec leur environnement
- 4 Importance des unicellulaires dans les écosystèmes

ZOOM

- 1 Les biofilms
- 2 Contrôle de l'expression de l'opéron lactose par la disponibilité des ressources du milieu

Voir chapitre 25, zoom 1

INTRODUCTION

La diversité des espèces d'une biocénose est avant tout celle des unicellulaires. On estime qu'il y a plus de 5 000 espèces bactériennes dans le rumen d'une vache et 10 000 dans le sol de 1 m² de prairie. Cette biodiversité n'a pu être convenablement estimée que récemment grâce aux méthodes de séquençage haut débit de l'ADN. Nombre de ces microorganismes sont mal connus car impossibles à cultiver en laboratoire. Mais d'autres ont été bien étudiés, notamment parce qu'ils représentent un intérêt agronomique, vétérinaire ou médical. Ils permettront de dégager quelques caractéristiques de l'état unicellulaire.

- ➔ Quelles places occupent les unicellulaires, sur le plan taxonomique dans l'arbre du vivant, et sur le plan fonctionnel dans leurs écosystèmes ?
- ➔ Comment un organisme formé d'une seule cellule réalise-t-il ses différentes fonctions ?

1 Places des unicellulaires dans l'arbre du vivant

Les unicellulaires constituent un très vaste ensemble, comprenant des organismes très divers. Cette diversité se traduit par des organisations cellulaires différentes que les techniques de microscopie mettent en évidence (figure 1.1) et par des modes de vie et des types trophiques variés. Cette grande diversité est révélée à l'échelle moléculaire, sur laquelle se fondent les classifications actuelles.

Plusieurs exemples de **bactéries** ont déjà été étudiés dans l'ouvrage de 1^{re} année : le colibacille *Escherichia coli* peut vivre libre dans les eaux douces ou en symbiose avec des mammifères, dont l'humain ; *Rhizobium* vit à l'état libre dans le sol ou en symbiose dans les nodosités racinaires des fabacées ; *Nitrobacter* est une bactérie nitrifiante du sol.

Voir ouvrage de 1^{re} année, chapitre 4, zoom 6 ; chapitre 6, § 2 ; TP6, § 2 et 3 ; chapitre 10, § 4

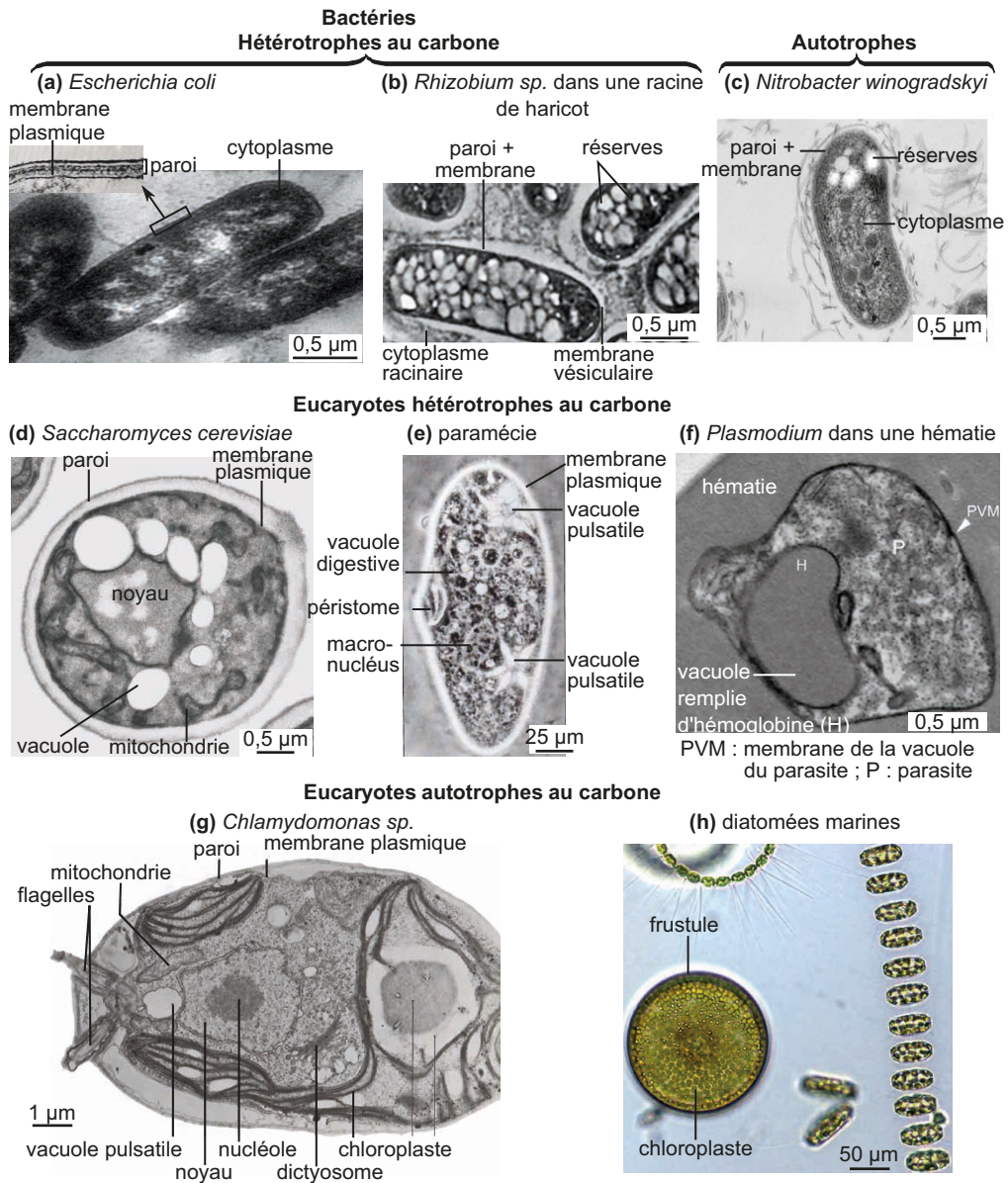


Figure 1.1 Diversité des organisations des unicellulaires.

Toutes les images sont réalisées avec un microscope électronique à transmission, sauf **(e)** microscopie à contraste de phase et **(h)** microscopie photonique.

(a) Wasfi R. *et al.*, 2016. PLoS ONE 11(3): e0150984. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150984> ; **(b)** Prell J. *et al.*, 2010. PLoS ONE 5(11): e13933. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013933> ; **(c)** Professor W. Hickey. <https://www.flickr.com/photos/153251285@N05/33585754286/in/shares-vW80iS/> ; **(d)** Flis VV. *et al.*, 2015. PLoS ONE 10(8):e0135084. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135084> ; **(e)** S. Heusser & H.G. Dupuy *Atlas de Biologie animale* tome 1. Dunod 2004, photo : Guy Brugerolle ; **(f)** Soares Medeiros LC. *et al.*, 2012. PLoS ONE 7(3): e33445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033445> ; **(g)** J.C. Roland & B. Vian *Atlas de Biologie végétale* tome 1. Dunod 1997 ; **(h)** image de S. Anderson, Spaulding, S.A., Potapova, M.G., Bishop, I.W., Lee, S.S., Gasperak, T.S., Jovanovska, E., and Edlund, M.B. 2022. Diatoms.org: supporting taxonomists, connecting communities. *Diatom Research*. doi:10.1080/0269249X.2021.2006790.

Voir chapitre 13, figure 13.3

Voir chapitre 13, zooms 2 et 4

L'identification des bactéries sur la base de simples caractères structuraux n'est pas possible. Elle fait appel à de nombreux autres critères : nature des milieux sur lesquels la croissance est possible ; tests de coloration, comme la coloration de Gram ; tests biochimiques, comme les galeries API (*analytical profile index*) qui détectent généralement une activité enzymatique.

Les eucaryotes unicellulaires appartiennent à différentes branches de l'arbre du vivant (figure 1.2). Selon leur mode de vie, on distinguera 3 groupes.

- Les organismes chlorophylliens

Les **chlamydomonas** constituent un genre d'algues vertes (ou **chlorophytes**) unicellulaires ; elles sont utilisées comme organismes modèles et dans différentes biotechnologies (production de biocarburants notamment). Les **diatomées** (ou **bacillariophytes**), groupe diversifié d'algues unicellulaires, sont présentes dans tous les milieux aquatiques. Comme les autres **straménopiles** chlorophylliens, elles possèdent des chloroplastes à 4 membranes. Les diatomées se caractérisent notamment par leur squelette externe siliceux appelé **frustule**, qui peuvent générer des dépôts siliceux en domaine océanique ou lacustre. Ce sont des constituants importants du phytoplancton.

- Les organismes hétérotrophes non parasites

Les **levures** correspondent à un ensemble d'**eumycètes** unicellulaires. La levure *Saccharomyces cerevisiae* se trouve à l'état naturel sur la peau des fruits. Elle est très utilisée dans les industries agroalimentaires (levure de bière ou de boulanger) et constitue un organisme modèle. La paramécie, *Paramecium caudatum* (**alvéolobionte**), vit en eau douce où elle se nourrit de bactéries.

- Les unicellulaires parasites

Le trypanosome (**excavata**) et le plasmodium (**alvéolobionte**) sont deux parasites du sang humain. Ils sont étudiés au § 3.2b.

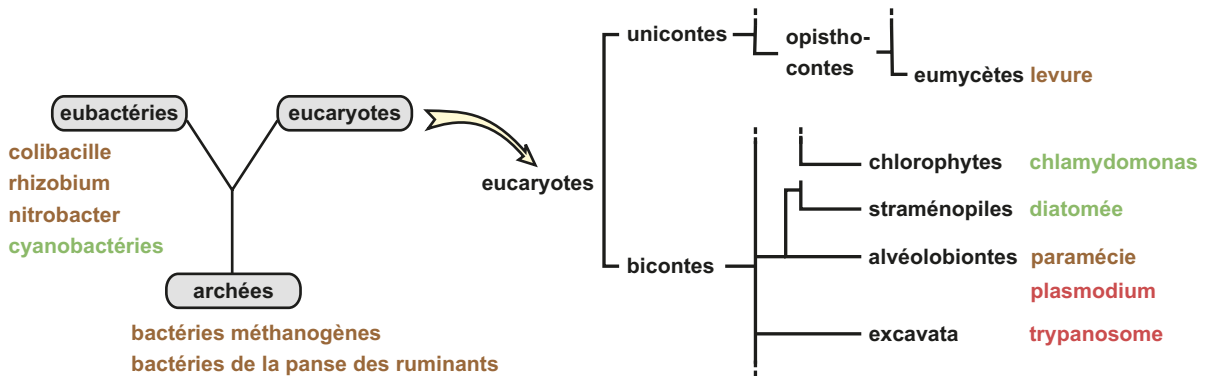


Figure 1.2 Éléments de phylogénie des organismes unicellulaires, fondée sur des critères moléculaires (séquences des ARNr notamment).

En vert, les organismes photosynthétiques, en rouge les parasites, en marron les hétérotrophes à vie libre ou symbiotique.

2 Réalisation des fonctions avec une seule cellule

L'étude de la paramécie (figure 1.3) permet d'illustrer comment une seule cellule, qualifiée alors de **plurifonctionnelle**, réalise l'ensemble des fonctions d'un organisme avec ses différents organites. Ces fonctions peuvent être réalisées avec des modalités différentes selon les organismes (tableau 1.1).

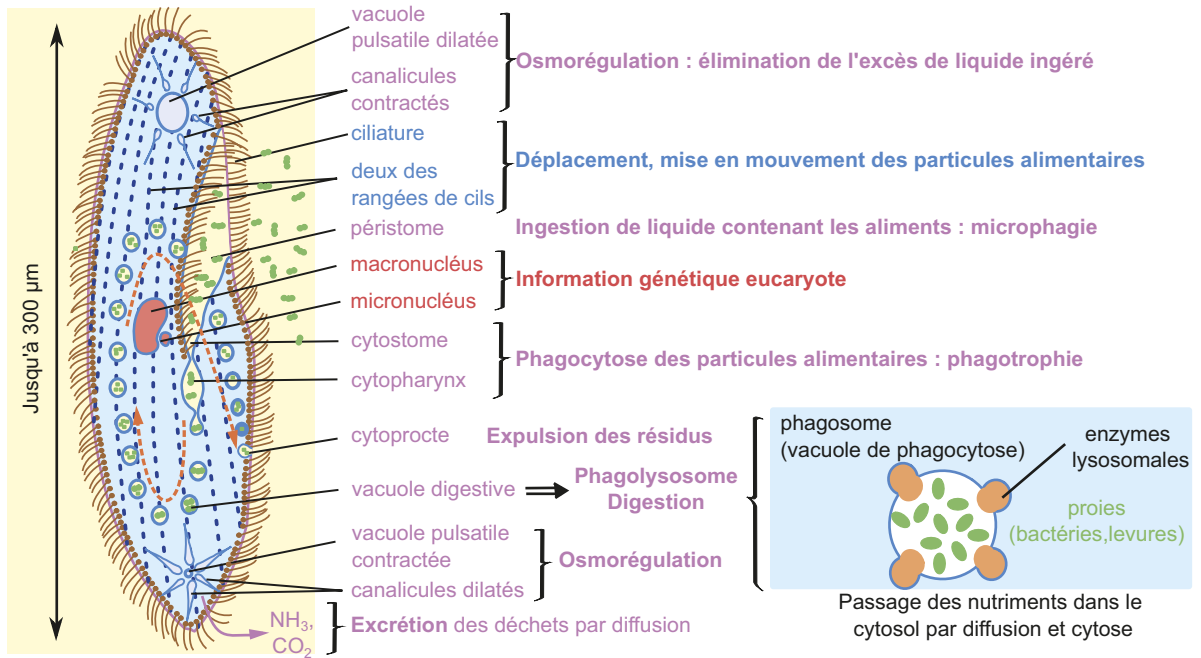


Figure 1.3 La paramécie, un exemple de cellule plurifonctionnelle.

Ce qui concerne les fonctions de relation est en bleu, celles de nutrition en violet et la reproduction en rouge.

Tableau 1.1 Réalisation des fonctions chez différents unicellulaires (organismes au programme BCPST).

Fonction de relation	Locomotion	<p>Vie en suspension dans le milieu ou sous forme de bio-film (§ 3).</p> <p>Déplacement passif (bactéries sans flagelle, levure) ou actif à l'aide de flagelles bactériens, de cils (paramécie) ou flagelles (deux chez chlamydomonas ; un seul chez le trypanosome).</p> <p>Le flagelle bactérien est une structure très différente du flagelle des eucaryotes : un filament protéique fait de flagelline avec un moteur moléculaire à sa base ; les cils et flagelles des eucaryotes sont faits de microtubules.</p>
	Sensibilité	<p>Déplacement orienté par un facteur du milieu ou tactisme (chimiotactisme positif des paramécies pour O_2 ; positif pour certains glucides chez le colibacille).</p> <p>Photosensibilité de chlamydomonas grâce à son stigma (zone du chloroplaste formée d'un assemblage de membranes et de pigments caroténoïdes, dont l'activation par la lumière contrôle les battements des flagelles).</p> <p>Exocytose de vésicules contenant des filaments (trichocystes) en réponse à divers stimuli chez la paramécie.</p>
	Protection	Émission de substances antibiotiques ; formation de biofilms.

Voir ouvrage de 1^{re} année, chapitre 6, § 2 et zoom 4

Fonction de nutrition	Alimentation	Uniquement pour les hétérotrophes. - Phagotrophes comme la paramécie : les proies sont ingérées dans une vacuole de phagocytose qui fusionne avec des lysosomes en une vacuole digestive. La digestion intracellulaire se fait hors du cytosol. Élimination des particules indigestes par exocytose au niveau du cytoprocte. - Absorbotrophes (bactéries, levure, trypanosome) : absorption membranaire de substrats du métabolisme issus d'une exodigestion ou présents dans un liquide biologique pour les parasites et les symbiotes.
	Osmorégulation	Vacuoles pulsatiles (paramécie, trypanosome, chlamydomonas).
	Échanges gazeux	Par diffusion gazeuse, à travers la membrane plasmique (et éventuellement la paroi). Diverses exigences vis-à-vis du dioxygène : organismes aérobies stricts (<i>nitrobacter</i> , rhizobium, paramécie, cyanobactéries, algues unicellulaires), anaérobies facultatifs (colibacille, levure, trypanosome), anaérobies stricts (bactéries dénitrifiantes du sol).
Fonction de reproduction	R. asexuée	Par division bactérienne ou mitose chez les eucaryotes. Rythme de division intense dans un milieu récemment colonisé ou pour les parasites (trypanosome, plasmodium) : croissance exponentielle.
	R. sexuée	Cycle de reproduction avec méiose et fécondation chez les eucaryotes (levure, chlamydomonas, paramécie, plasmodium, trypanosome chez qui la reproduction sexuée a été récemment identifiée).

Voir ouvrage de 1^{re} année, chapitre 16, § 2.2a

3 Relations des unicellulaires avec leur environnement

3.1 Relations avec d'autres microorganismes : formation de biofilms

Les organismes unicellulaires (bactérie ou eucaryote) vivent soit de manière libre, en se déplaçant dans leur milieu, soit en se fixant à un substrat organique ou minéral sur lequel ils forment un **biofilm**. Un biofilm peut être défini comme une communauté multicellulaire formée d'une matrice et de divers organismes unicellulaires. Certains virus (comme le virus de l'immuno-déficience humaine ou VIH) peuvent également participer à des biofilms. Un biofilm peut être homogène (composé d'une seule espèce) ou hétérogène quand plusieurs espèces sont associées par des relations mutualistes. Les biofilms naturels sont formés de bactéries et d'algues sur les surfaces éclairées, de bactéries et de champignons en l'absence de lumière. Les structures formées par les biofilms sont souvent observables à l'œil nu, comme les masses gélatineuses formées par les cyanobactéries du genre *Nostoc*. Les traces de ce type d'association sont très anciennes puisque les stromatolithes (parmi les plus anciens fossiles connus, -3,5 Ga) sont issus de la biominéralisation au contact de biofilms formés par des cyanobactéries.

3.2 Relations avec des organismes pluricellulaires

a) Associations mutualistes

Des relations symbiotiques entre des microorganismes et des organismes pluricellulaires ont été étudiées en BCPST1 : symbiose entre microbiote ruminal et les ruminants, entre les bactéries du genre *Rhizobium* et les fabacées, entre les bactéries du microbiote intestinal (dont *Escherichia coli*) et l'humain.

Voir ouvrage de 1^{re} année, chapitre 13, § 4

Voir ouvrage de 1^{re} année, chapitre 26, figure 26.8

ZOOM 1
Les biofilms

Voir ouvrage de 1^{re} année, chapitre 1, § 2.1 ; chapitre 4, zoom 6 ; chapitre 5, § 5.2

La nature des relations interspécifiques est parfois difficile à définir. Par exemple les colibacilles existent sous forme de multiples souches dont certaines peuvent vivre libres dans les eaux douces ou contribuer au microbiote intestinal de nombreux mammifères dont l'humain. La plupart des souches ne sont pas pathogènes, ce qui conduit à les qualifier de **sympyotes**. Certaines souches cependant produisent des toxines à l'origine de graves infections d'origine alimentaire. Le colibacille se comporte alors comme un **parasite**.

b) Parasitisme

De graves maladies parasitaires de l'humain sont dues à des organismes unicellulaires (figure 1.4).

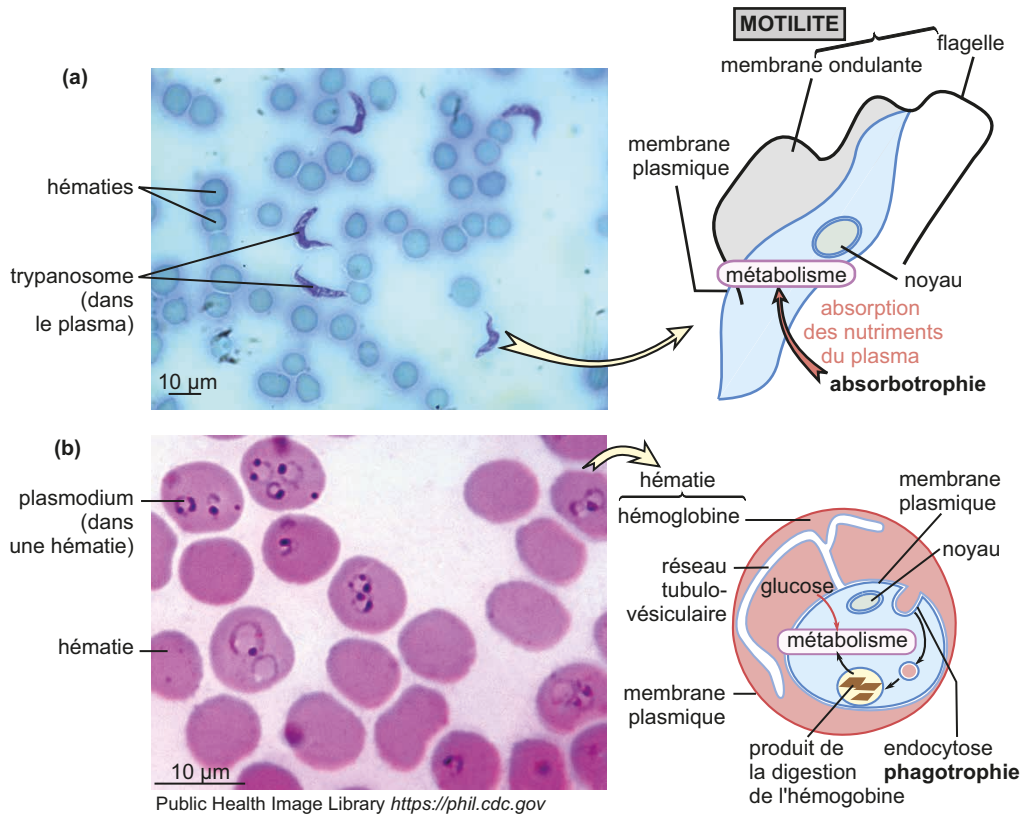


Figure 1.4 Deux parasites unicellulaires du sang humain : (a) trypanosome ; (b) plasmodium.

À gauche, frottis sanguins montrant les parasites dans le sang de leur hôte ; à droite, représentation schématique de leur organisation fonctionnelle.

- Les **trypanosomiasés**, telles que la maladie du sommeil, endémique dans certaines régions d'Afrique subsaharienne. Elle est provoquée par *Trypanosomia brucei* (excavata), un parasite extracellulaire qui vit dans le plasma sanguin, puis dans le liquide céphalorachidien, ce qui entraîne des atteintes nerveuses dont l'évolution est fatale en quelques mois.
- Le **paludisme**, est une maladie due à plusieurs espèces de parasites du genre *Plasmodium* (alvéolobionte). L'Organisation Mondiale de la Santé estime qu'en 2020 cette affection a touché 241 millions de personnes dans le monde et en a entraîné 627 000 décès. Le plasmodium, parasite intracellulaire, infecte les hématies dont il provoque l'éclatement.

Ces parasites se transmettent d'un hôte humain à un autre par l'intermédiaire d'un insecte hématophage (vecteur) : une mouche, la glossine pour les trypanosomes, un moustique du genre anophèle pour les plasmodiums.

3.3 Influence des variations du milieu extérieur

Le fonctionnement des organismes cellulaires est particulièrement dépendant des paramètres du milieu extérieur. Ceux-ci orientent leurs déplacements (tactisme) et contrôlent la vitesse des réactions enzymatiques et l'expression des gènes. De nombreux exemples témoignent d'un changement important du phénotype des unicellulaires en fonction des conditions du milieu :

- présence ou absence de mitochondries chez les levures en milieu respectivement aérobie ou anaérobie ;
- développement chez le trypanosome, de vésicules particulières (glycosomes) séquestrant la majeure partie des enzymes de la glycolyse, lorsque le trypanosome vit dans le plasma sanguin et tire son énergie de la glycolyse ;
- expression de la nitrogénase (enzyme permettant la réduction du N₂ atmosphérique) uniquement chez les rhizobiums en symbiose avec les racines d'une fabacée ;
- présence de flagelles chez les bactéries à vie libre ou de pili présentant des adhésines lorsqu'elles forment des biofilms.

De nombreux gènes bactériens (près de 60 % chez *Escherichia coli*) sont regroupés en opérons, ensembles de gènes codant des protéines mises en jeu dans une même voie métabolique (synthèse d'un acide aminé ou catabolisme d'un nutriment). Ces opérons constituent des unités coordonnées d'expression génétique : les gènes en sont transcrits simultanément en un seul ARN qui est qualifié de polycistronique.

L'expression d'un opéron dépend des conditions du milieu. Par exemple, la transcription de l'opéron lactose, qui code 3 protéines impliquées dans l'utilisation du lactose, est réprimée en l'absence de lactose ou en présence de glucose (meilleure source d'énergie que le lactose) ; elle est activée en présence de lactose et en l'absence de glucose.

Ce contrôle direct de l'expression génétique par les facteurs du milieu permet d'adapter le protéome aux besoins de l'organisme. Il met en évidence une **plasticité phénotypique**.

ZOOM 1

Les biofilms

Voir ouvrage de 1^{re} année, chapitre 13, § 2.2

ZOOM 2

Contrôle de l'expression de l'opéron lactose par la disponibilité des ressources du milieu

4

Importance des unicellulaires dans le fonctionnement des écosystèmes

4.1 Diversité des types trophiques des unicellulaires

La diversité métabolique des organismes unicellulaires conduit à la définition de différents **types trophiques**. L'identification d'un type trophique tient compte de la source d'énergie principale, du donneur d'électrons, et de la source de carbone ([tableau 1.2](#)).

Tableau 1.2 Les différents types trophiques des unicellulaires.

Type trophique	Origine de l'énergie	Origine des électrons	Source de carbone	Exemples
photolithotrophie	lumière → photo	donneur minéral (H ₂ O) → litho	minéral (CO ₂) → autotrophie	cyanobactéries chlamydomonas diatomées
chimolithotrophie	molécule réduite → chimio	donneur minéral (NO ₂ ⁻) → litho	minéral (CO ₂) → autotrophie	nitrobacter
chimioorganotrophie	molécule réduite → chimio	donneur organique → organo	organique → hétérotrophie	colibacille rhizobium levure paramécie trypanosome plasmodium

Voir ouvrage de 1^{re} année, chapitre 10, § 4



4.2 Rôles des unicellulaires dans les cycles de la matière

Les unicellulaires **photolithotrophes** (notamment les cyanobactéries et les diatomées) sont des constituants majeurs du phytoplancton à l'origine de la moitié de la **production primaire** mondiale. Ils contribuent ainsi au rôle de puits de carbone de l'océan et sont à la base des chaînes trophiques des écosystèmes aquatiques.

Les bactéries **chimioorganotrophes** du sol (en association avec les champignons qui ne sont pas tous unicellulaires) contribuent à la digestion de la matière organique morte du sol, en libérant des exoenzymes dans le milieu. Ces organismes absorbent les produits de cette exodigestion et les utilisent dans leur métabolisme. La microfaune du sol comprend de nombreux ciliés qui consomment les bactéries et initient ainsi les réseaux trophiques complexes du sol.

Les bactéries du sol jouent aussi un rôle important dans le cycle de l'azote. Les bactéries diazotrophes comme les rhizobiums réduisent le N_2 atmosphérique en ammonium utilisé dans la synthèse d'acides aminés par les plantes. Les bactéries **chimioolithotrophes**, comme *Nitrobacter* contribuent à l'oxydation des ions ammonium en ions nitrates ; elles contribuent ainsi au cycle de l'azote.

Voir chapitre 22, § 3.1

Voir chapitre 25, § 1.2
et zoom 1

Voir chapitre 23, § 3

ZOOM 1

Les biofilms

Formation d'un biofilm bactérien

Un biofilm peut se former en quelques heures, selon les étapes suivantes.

- Adhérence réversible sur une surface de bactéries pionnières
Les cellules à l'origine d'un biofilm, en suspension dans un liquide ou dans l'air, entrent en contact avec le substrat par des liaisons faibles. Les surfaces hydrophiles, ou rugueuses sont plus favorables à l'installation d'un biofilm.
- Adhérence irréversible et édification de structures tridimensionnelles
À ce stade, l'expression génétique des cellules bactériennes change : par exemple, chez les colibacilles cela conduit au remplacement des structures de nage comme les flagelles par des filaments protéiques, ou pili, porteurs de molécules appelées adhésines. Les cellules bactériennes s'agglutinent alors, se multiplient, ce qui forme des micro-colonies.
- Maturation du biofilm
Elle est marquée par la multiplication des microorganismes qui contribuent collectivement à la sécrétion de polymères constituant une matrice autour des cellules.
- Dissolution du biofilm
Sous l'effet de facteurs de l'environnement ou du vieillissement du biofilm, les microorganismes se séparent et retournent à une vie libre, ce qui leur permet de coloniser de nouveaux substrats.

À toutes les étapes, les cellules bactériennes réagissent à des signaux de l'environnement comme le contact avec une surface, la concentration d'éléments nutritifs, qui contrôlent leur expression génétique. Elles sont également sensibles à des molécules diffusibles produites par les autres cellules, ce qui leur permet de détecter et de quantifier la présence des autres microorganismes dans le milieu. Ce phénomène connu sous le nom de **détection du quorum** (ou *quorum sensing*) contrôle la croissance du biofilm.

Relations intercellulaires au sein d'un biofilm

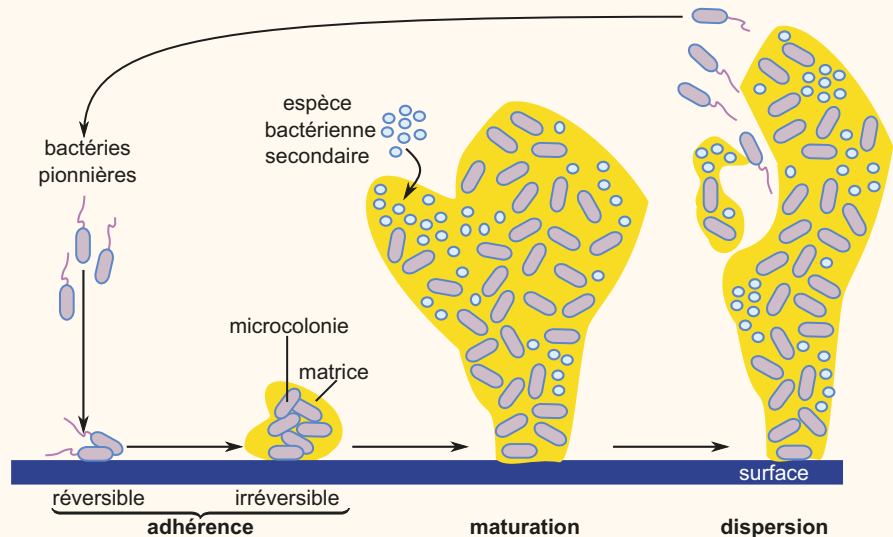
La **matrice** d'un biofilm est essentiellement constituée d'eau (jusqu'à 97 %). Elle contient aussi des ions minéraux et des composés organiques (polyosides, protéines, lipides, acides nucléiques) produits par les microorganismes qu'elle héberge, ou par leur hôte lorsque le biofilm se forme sur une surface vivante (peau, muqueuse digestive, etc.).

La composition de la matrice dépend des espèces du biofilm et des conditions du milieu. On y retrouve souvent un polymère de 1,6-N-acétyl-D-glucosamine.

Au sein du biofilm, les communautés microbiennes présentent une **biodiversité** importante. La proximité des cellules leur permet d'entretenir des relations étroites :

- **compétition** pour une ressource trophique, pour l'espace, ou par émission de substances toxiques ;
- **coopération entre deux espèces** : par exemple entre les bactéries méthanogènes (qui transforment CO_2 et H_2 en méthane) et les bactéries acétogènes, qui produisent H_2 à partir d'éthanol et dont le métabolisme est inhibé par une concentration trop élevée en H_2 ;
- **coopérations plus larges** : la majorité des cellules produisent des composés utiles à l'ensemble de la communauté du biofilm (enzymes de dégradation des substrats nutritifs, tensioactifs, constituants de la matrice).

La proximité des cellules dans le biofilm favorise aussi les **transferts horizontaux de gènes** d'une cellule à une autre par transformation (incorporation d'ADN présent dans l'environnement), transduction (transfert d'ADN par des virus), conjugaison (transfert de plasmides, petits ADN circulaires, par l'intermédiaire d'un pilus sexuel). Des **nanotubes** mettant en relation les cytoplasmes de deux cellules (d'une même espèce ou d'espèces différentes) permettent d'échanger des composés variés, dont des plasmides.



Les étapes de la formation et de la dispersion d'un biofilm bactérien.

(D'après Tremblay YD, & al. *Can J Vet Res.* 2014 Apr ;78(2):110-6. PMID : 24688172).

Augmentation de la capacité de résistance des microorganismes d'un biofilm

L'association en biofilm protège les microorganismes contre la dessiccation, les agents antimicrobiens ou le système immunitaire de leur hôte. La formation des biofilms peut alors interférer avec les traitements antibiotiques ou de désinfection des surfaces. Plusieurs facteurs expliquent cette résistance accrue.

- La matrice agit comme une **barrière** réduisant ou empêchant la diffusion des antimicrobiens.
- Les cellules d'un biofilm sont **moins sensibles aux agents antimicrobiens** et aux stress environnementaux, que les mêmes cellules en suspension dans leur milieu parce que leur métabolisme est réduit par les molécules de détection du quorum.



- Des processus de résistance **active**, comme des transports actifs expulsant les composés antimicrobiens, ont pu être identifiés au sein de biofilms. L'échange de signaux chimiques entre les cellules d'un biofilm est aussi un facteur susceptible d'augmenter leur résistance.
- Les transferts horizontaux de gènes au sein du biofilm sont favorables à l'**acquisition de nouveaux caractères** comme la résistance aux antibiotiques.

Importance écologique des biofilms

Les biofilms se forment sur toutes les surfaces en milieu aqueux ou exposées à l'humidité. Leurs rôles dans les écosystèmes sont très nombreux, et certains ont été développés dans d'autres chapitres du programme.

- Ce sont les premiers colonisateurs d'un substrat rocheux nu (après le retrait d'un glacier ou une éruption volcanique).
- Ils colonisent la peau et les cavités internes des animaux. Ces microbiotes jouent alors un rôle fonctionnel important pour l'organisme, pour la digestion notamment.
- Les biofilms microbiens qui se développent sur des plantes ou sur des roches sont une ressource trophique pour des animaux racleurs comme des escargots ou certains poissons.
- Les biofilms formés par des cyanobactéries contribuent significativement à précipiter le carbone du CO₂ dissous dans l'eau sous forme de calcite, dans les écosystèmes aquatiques riches en calcium (puits de carbone).

Les biofilms posent aussi de nombreux problèmes dans les domaines de la santé humaine ou animale, de l'hygiène agroalimentaire, et de la qualité microbiologique des eaux.

Voir chapitre 26, § 3.1

Voir ouvrage
de 1^{re} année,
chapitre 1, zoom 2

ZOOM 2

Contrôle de l'expression de l'opéron lactose par la disponibilité des ressources du milieu

Plus de la moitié des gènes bactériens sont regroupés en opérons. Un opéron associe plusieurs gènes codant des protéines mises en jeu dans une même voie métabolique. Chacun des gènes code une protéine spécifique. L'ensemble des gènes de l'opéron est placé sous le contrôle d'une même séquence régulatrice comprenant un promoteur et un opérateur.

L'opéron lactose d'*Escherichia coli* associe ainsi **trois gènes codant trois protéines** impliquées dans l'utilisation du lactose ou de molécules voisines :

- *lacZ* : gène de la β -galactosidase qui hydrolyse le lactose en glucose et galactose ;
- *lacY* : gène de la lactose-perméase qui permet l'entrée du lactose dans la cellule ;
- *lacA* : gène de la thiogalactoside-transacétylase, qui participe au métabolisme de molécules voisines du lactose, les thiogalactosides.

En amont de ces trois gènes se trouvent deux séquences de contrôle de la transcription de l'opéron :

- le site P, ou promoteur, est le site de fixation de l'ARN polymérase ;
- le site O, ou **opérateur**, situé dans la partie aval du promoteur, est un site régulateur.

En amont de l'opéron se trouve le **gène I codant une protéine répresseur**. La transcription du gène I n'est pas régulée ; elle s'effectue en permanence à un niveau bas de sorte qu'il y a moins d'une dizaine de molécules de répresseur par cellule.

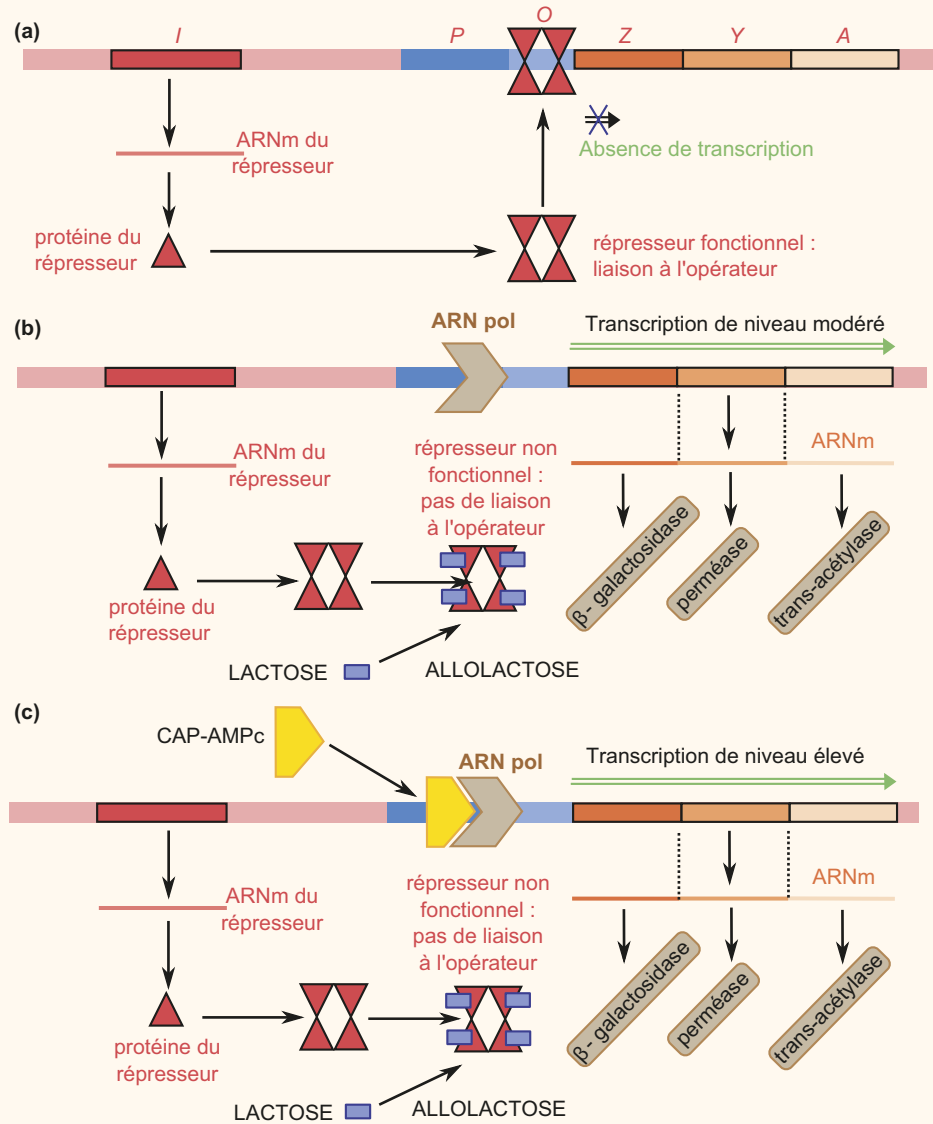
- Levée de la répression de la transcription de l'opéron : l'induction par le lactose
En l'absence de lactose, le répresseur protéique codé par le gène I se fixe sur le site opérateur et il bloque la transcription des 3 gènes Z, Y et A : l'opéron est réprimé (figure a). En présence de lactose, le répresseur forme avec l'allolactose (un dérivé cellulaire du lactose), un complexe ne lui permettant plus de se fixer sur le site opérateur ; l'action de l'ARN

polymérase n'est plus entravée et la transcription des gènes de l'opéron s'effectue à un niveau modéré (figure b).

- Élévation du niveau de transcription en l'absence de glucose

Lorsque les concentrations intracellulaires de glucose sont faibles, la concentration intracellulaire en AMPc augmente ; l'AMPc apparaît comme un signal de carence métabolique. L'AMPc associé à la protéine CAP (*catabolite activator protein*) se fixe sur le promoteur, sur un site adjacent à celui de l'ARN polymérase, ce qui élève le niveau de la transcription d'un facteur 50 (figure c).

En présence de glucose, la concentration en AMPc est abaissée ; la protéine CAP seule ne suffit pas à élever le niveau de la transcription qui s'effectue alors à un niveau modéré. Ce mécanisme favorise l'utilisation du glucose par rapport au lactose.



Contrôle de l'expression de l'opéron lactose d'*Escherichia coli*.

Réviser

Résumé

Les organismes unicellulaires bactériens ou eucaryotes appartiennent à différents taxons de l'arbre du vivant. Ils assurent par leurs constituants cellulaires les mêmes fonctions que les organismes pluricellulaires (nutrition, relation, reproduction) ; ils échangent directement avec leur milieu de vie à travers leur membrane plasmique. Vivant toujours dans des milieux aqueux ou humides, ils présentent des modes de vie libre, symbiotique ou parasitaire. Ils peuvent se regrouper en biofilms (y compris dans les liquides biologiques pour les symbiotes ou les parasites), ce qui augmente leur résistance. Les types trophiques (photolithotrophie, chimiolithotrophie, chimioorganotrophie) rencontrés chez les unicellulaires (particulièrement chez les bactéries) sont très divers et essentiels au fonctionnement des écosystèmes, en particulier pour les cycles de la matière.

S'entraîner

QCM de connaissances

- 1 À propos des organismes unicellulaires.
 - a. Ce sont toujours des organismes procaryotes.
 - b. Ils sont phagotrophes lorsqu'ils sont phototrophes.
 - c. Ils ont toujours un mode de vie libre.
 - d. Ils représentent un ensemble monophylétique.
 - e. Ils peuvent acquérir de nouvelles propriétés en se groupant en biofilms.
- 2 On étudie l'expression de l'opéron lactose du colibacille dans différents milieux.
 - a. En présence de glucose seul, l'activité du répresseur et le niveau de transcription de l'opéron sont faibles.
 - b. En présence de glucose et de lactose, l'activité du répresseur et la quantité de complexe entre l'AMPc et la protéine CAP sont faibles.
 - c. En présence de glucose et de lactose, l'opéron n'est pas transcrit.
 - d. En présence de lactose seul, la concentration d'AMPc est faible.
 - e. En présence de lactose seul, le répresseur n'est pas fonctionnel et le niveau de transcription de l'opéron est élevé.

Question de synthèse courte

Unité et diversité des unicellulaires.

Sujet sur documents (analyse et mise en relation)

Bacillus subtilis est une bactérie hétérotrophe du sol. On la trouve fréquemment dans la rhizosphère, autour des racines des plantes qui sécrètent des molécules organiques qui sont une source de carbone pour la bactérie. En laboratoire, *Bacillus subtilis* forme des biofilms dont la matrice comprend notamment une protéine fibreuse et des polyosides synthétisés par les produits d'un opéron noté *epsA-O*.

Dans cette étude, les bactéries peuvent être cultivées sur 3 milieux différents : SYM est riche en saccharose ; CZ est un milieu minimum qui contient du glucose comme seule source de carbone organique ; CZ+ sac correspond au milieu CZ auquel du saccharose a été rajouté.

1 Analyser et interpréter les résultats de la figure 1.5.

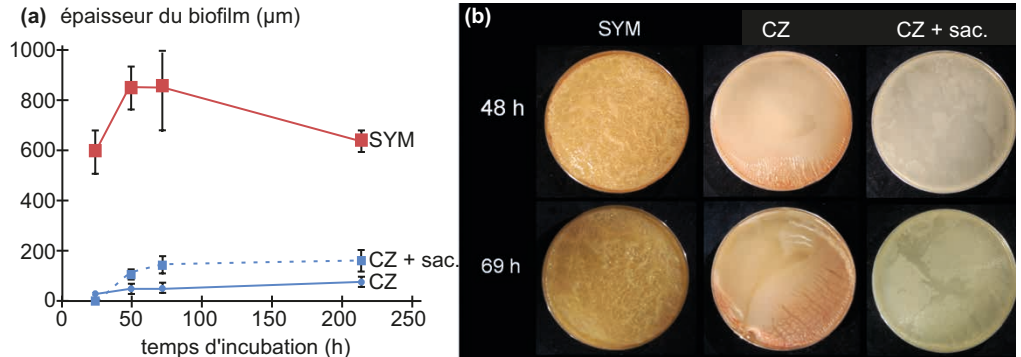
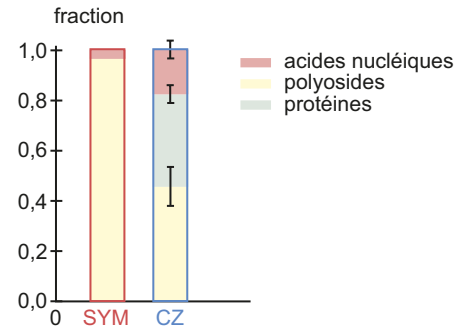


Figure 1.5 Épaisseur du biofilm (a) et aspect des boîtes de culture (b) sur 3 milieux nutritifs. (D'après Dogsa I. et al., 2013. PLoS ONE 8(4) e62044. doi10.1371/journal.pone.0062044).

2 La figure 1.6 présente les résultats de l'analyse de la matrice du biofilm. Comparer les compositions de la matrice formée dans les milieux SYM et CZ.

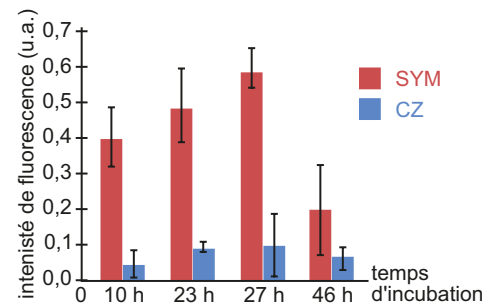
Figure 1.6 Composition en molécules organiques de la matrice du biofilm mature. (D'après Dogsa I. et al., 2013. PLoS ONE 8(4): e62044. doi 10.1371/journal.pone.0062044).



On réalise une souche de *Bacillus subtilis* (notée *epsA-O-gfp*) dans laquelle le gène codant une protéine fluorescente, la GFP, est placé sous le contrôle du promoteur de l'opéron *epsA-O*.

3 Analyser et interpréter les résultats de la figure 1.7.

Figure 1.7 Émission de fluorescence par des biofilms formés de la souche *epsA-O-gfp* cultivée sur deux milieux différents. (D'après Dogsa I. et al., 2013. PLoS ONE 8(4): e62044. doi 10.1371/journal.pone.0062044). u.a.: unité arbitraire



4 Récapituler les effets du milieu nutritif mis en évidence dans cet ensemble de documents.