

REGARDS SUR LES ORGANISMES UNICELLULAIRES

Rappels BCPST 1, posters révisions :

- regards sur un organisme Métazoaires : un Bovidé
- regards sur un organisme Angiosperme : une fabacée SVA2
- la cellule dans son environnement (SVC)
- le métabolisme cellulaire (SVE)
- classer la biodiversité (SVK2.1)

Il existe **plusieurs millions d'espèces d'organismes unicellulaires**.

Cette biodiversité est invisible à l'œil nu pourtant elle agit de manière **essentielle sur les écosystèmes** et donc le biotope visible : **acteurs du cycle de l'azote et du carbone** dans les sols et les océans, **régulateurs du développement des organismes pluricellulaires par l'intermédiaire d'interactions parasitaire ou symbiotique**. Il est donc justifié d'explorer le monde des unicellulaires.

L'organisation de ces cellules, leurs types trophiques expliquant comment elles utilisent la matière prélevée dans le milieu ainsi que leurs interactions permettront d'explicitier la biodiversité.

Les organismes unicellulaires appartiennent à des groupes très variés du vivant et reflètent l'histoire évolutive complexe du vivant.

Problématique : *Comment des organismes constitués d'une seule cellule réalisent-ils l'ensemble des fonctions du vivant ? Comment expliquer leur importance majeure dans les écosystèmes ? Et enfin, en quoi sont ils des moteurs de l'évolution ?*

I. Les organismes unicellulaires réalisent l'ensemble de leurs fonctions au niveau d'une seule cellule

La **cellule** est l'**unité fondamentale des êtres vivants**, c'est à dire une **unité fonctionnelle capable de se reproduire et d'avoir un métabolisme propre**. (les virus ne peuvent donc pas être considérés comme des êtres vivants).

1. La diversité des types trophiques

Document 1 : les différents systèmes thermodynamiques

Les cellules consomment des nutriments, rejettent des produits de dégradation et de la chaleur : ce sont des **systèmes ouverts qui peuvent à l'inverse des systèmes fermés ou isolés, évoluer et se maintenir loin de l'état d'équilibre avec le milieu environnant**, on parle alors **d'état stationnaire de non équilibre**.

La réalisation des différents travaux cellulaires (travail chimique- synthèses organiques-, travail osmotique- transport de substances contre leur gradient électrochimique-, travail mécanique- contraction musculaire-, déplacement orienté des organes dans la cellule-, travail électrique) **nécessite l'apport d'énergie**.

Pour ce faire, ces réactions nécessaires au maintien en vie de la cellule sont couplées à des réactions qui libèrent de l'énergie et permettent leur réalisation. C'est le couplage énergétique.

Document 2 : les différents types trophiques

Les ressources que les cellules prélèvent dans le milieu permettent de définir des types trophiques que l'on peut classer selon plusieurs critères :

- **selon la source d'électrons utilisés pour les réactions redox et la synthèse d'ATP** : les **lithotrophes** utilisent des électrons provenant d'un **composé minéral** ; les **organotrophes** utilisent des électrons provenant d'un **composé organique**.

- **selon la source d'énergie utilisée** : les **phototrophes** utilisent l'énergie lumineuse pour permettre le transfert des électrons (endergonique) pour former du NADPH₂ alors que les **chimiotrophes** utilisent l'énergie du transfert exergonique des électrons pour former le NADH₂.

- **selon la source de carbone consommée** : les **autotrophes** synthétisent leur propre matière organique à partir de CO₂ alors que les **hétérotrophes** ont besoin de trouver dans le milieu des substances organiques pour synthétiser leur propre matière.

Remarque : l'autotrophie et l'hétérotrophie sans autre précision concerne le carbone mais on parle également d'autotrophie à l'azote et au soufre.,

La capacité à vivre selon un type trophique donné est conditionnée par l'équipement métabolique de la cellule et donc du pool génique : assortiment d'enzymes, coenzymes, pigments photosensibles, importance de la surface membranaire.

Les eucaryotes (unicellulaires, animales, végétales, fongiques) appartiennent à seulement **2 types trophiques** : la photo-lithotrophie pour les cellules chlorophylliennes et la chimio-organotrophie pour les cellules non chlorophylliennes.

En revanche, les procaryotes (eubactéries et archées) présentent tous les type de métabolisme possibles et pour certaines espèces, peuvent passer d'un mode de nutrition à un autre en fonction des conditions de biotope.

1.1 exemples d'unicellulaires autotrophes

En fonction de la source d'énergie, on distingue :

1.1.1 exemples de photolithotrophes

➤ Parmi les procaryotes, on peut prendre l'exemple des cyanobactéries

Document : Cf TP et bilan

Les **cyanobactéries** se caractérisent par des **replis internes de la membrane plasmique**, les **thylakoïdes** possédant une chaîne photosynthétique avec de la **chlorophylle a et b**. Associés à ces thylakoïdes, des **antennes collectrices**, les **phycobilisomes** portent des pigments permettant d'élargir le spectre de la photosynthèse, des **phycocyanines** et des **phycoérythrynes**. Dans le cytosol, des **carboxysomes** permettent de concentrer le CO_2 au voisinage de la Rubisco grâce à l'anhydrase carbonique.

➤ Parmi les eucaryotes, on peut citer Chlamydomonas de la Lignée Verte et les Diatomées de la Lignée Brune

Documents : Cf TP et bilan

Document 3: endosymbioses primaire, secondaire et tertiaire

Document 4 : arbre phylogénétique simplifié des eucaryotes

✓ L'algue verte Chlamydomonas, appartenant aux **Chlorobiontes**, possède un **chloroplaste à 2 membranes** (chlorophylles a et b) et contenant un **pyrénoïde**, analogue des **carboxysomes** de cyanobactérie, qui concentre grâce à l'anhydrase carbonique, le CO_2 à proximité de la Rubisco.

La présence de ce chloroplaste à 2 membranes est le témoin d'une **endosymbiose primaire**.

✓ - Les Diatomées appartiennent aux **Straménopiles de la Lignée brune**. Elles se caractérisent par la présence de **chloroplastes à 4 membranes** et contenant de la **chlorophylle a et c**, ces chloroplastes sont le témoin d'une **endosymbiose secondaire**.

Chez ces unicellulaires photolithotrophes, les chaînes photosynthétiques réalisent une conversion photochimique nécessaire à la réduction du NADP en NADPH_2 et à la synthèse d'ATP par couplage chimio-osmotique. L'ATP et le NADPH_2 formés servant par la suite à la réduction du CO_2 en G3P au cours du cycle de Calvin.

1.1.2 exemples de chimiolithotrophes (cf BGA et 1e année)

Documents : Cf TP, bilan et BGA (document 24)

Document 5 : aspects thermodynamiques de la nutrition de Nitrobacter

Il s'agit ici uniquement de procaryotes, on citera comme exemple les bactéries du sols Nitrosomonas et Nitrobacter qui utilisent lors de la nitrification, l'énergie libérée par l'oxydation du NH_4^+ (Nitrosomonas) et du NO_2^- (Nitrobacter) pour établir un **gradient de H^+** nécessaire à la synthèse d'ATP et à la réduction du **NAD en NADH_2** (le transfert des électrons n'étant pas spontané du couple NAD/ NADH_2 , (- 0,32 V) vers le couple $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ (+ 0,42 V))

1.2 exemples d'unicellulaires hétérotrophes

Documents : Cf TP et bilan

La plupart des unicellulaires hétérotrophes comme les pluricellulaires hétérotrophes **produisent leur MO à partir de molécules organiques préexistantes qu'ils prélèvent dans leur milieu de vie**. Ils sont aussi **chimio-organotrophes**, car cette production utilise l'énergie de la dégradation de ces molécules organiques.

En fonction des modalités de l'acquisition de la MO dans le milieu extérieur, on distingue :

1.2.1 l'absorbotrophie

Document 6 : principe de l'absorbotrophie

L'organisme unicellulaire est fréquemment séparé du milieu extracellulaire par une **paroi bactérienne ou une MEC eucaryote**. Nous pouvons prendre pour exemple :

- E.coli et Rhizobium qui sont des bactéries Gram - : leur paroi est formée d'une couche de peptidoglycane et d'une bicouche lipidique externe.
- Saccharomyces, une levure appartenant aux **Eumycètes** possède une matrice extracellulaire rigide contenant de la chitine.

Dans les deux situations, **l'absorption directe des macromolécules n'est pas possible**, les cellules sécrètent alors des **enzymes libérées dans le milieu extracellulaire grâce à des transporteurs** pour les eubactéries **ou par exocytose** pour *Saccharomyces*. La **digestion extracellulaire** libère des **molécules simples absorbées par la cellule via des transporteurs, on parle d'absorbotrophie**.

Remarque : cette digestion extracellulaire est courante : l'Homme, la Vache, les Insectes... la réalisent mais les zones de production des enzymes digestives (pancréas) et d'absorption (intestin) sont distinctes. La structure de l'unique cellule maximise le rapport entre sa surface et son volume, ce qui rend l'absorption très efficace.

1.2.2 la phagotrophie

On peut prendre comme exemple la Paramécie, appartenant aux **Alvéobiontes Ciliés**.

Les paramécies possèdent une invagination de la membrane plasmique en forme d'entonnoir bordée de cils qui attirent les particules du milieu, le **cytostome**. A son extrémité interne, les **particules** sont alors **phagocytées**. Les **vésicules ainsi formées fusionnent avec des lysosomes** pour permettre la digestion cellulaire puis les **déchets** sont **exocytés** au niveau du **cytoprocte**.

1.2.3 l'absorbotrophie couplée à la phagotrophie

Ces deux types de modalités peuvent être couplées, c'est par exemple le cas du trypanosome et du plasmodium, deux **parasites de l'être humain, responsables** respectivement de la **maladie du sommeil et du paludisme**.

➤ Le trypanosome appartenant aux **Euglénobiontes Kinétoplastidés**, est un **endoparasite extracellulaire**, il **puise certains nutriments** (glucose, aa) **par absorbotrophie dans le sang, la lymphe et le liquide céphalo-rachidien** de son hôte principal, l'Homme, **ou dans l'hémolymphe de son hôte intermédiaire**, la **glossine** (ou mouche tsé-tsé).

Il **récupère** également dans les fluides circulants de ses deux hôtes, **des biomolécules de plus grandes tailles par phagocytose comme des lipides et des protéines** par endocytose spécifique de LDL.

Le trypanosome possède une **mitochondrie unique de très grande taille, ramifiée dans tout le cytoplasme mais dont l'organisation varie selon les changements métaboliques** qui interviennent au cours du cycle parasitaire :

- **dans l'hémolymphe de la glossine, l'ATP est produit par respiration mitochondriale** à partir d'aa.
- **dans le sang de l'Homme, l'ATP est produit par une glycolyse particulière** (*ayant lieu dans des péroxysomes spécifiques, les glycosomes*) et la **mitochondrie** a alors une **taille très réduite**.

Remarque : l'ADN mitochondrial forme une structure particulière appelée **kinétoplaste**

➤ Le Plasmodium, appartenant aux **Alvéobiontes Apicomplexes**, est un **endoparasite intracellulaire**, il **puise le glucose par absorbotrophie dans les hématies de son hôte principal**, l'Homme, **ou dans l'hémolymphe de son hôte intermédiaire**, un moustique : l'anophèle femelle.

Chez l'humain, il **récupère également l'hémoglobine et d'autres macromolécules des hématies par phagocytose**.

Le Plasmodium métabolise les nutriments via la **respiration mitochondriale et/ou les transforme en lipides dans un plaste limité par quatre membranes et non photosynthétique : l'apicoplaste**.

2. La diversité des modalités de reproduction

2.1 procaryotes se multiplient par scissiparité et se recombinaient par transferts de gènes horizontaux et innovent par mutations

Documents : Cf TP et bilan

Les bactéries se divisent pas **scissiparité**, c'est à dire une **scission binaire une fois une taille critique atteinte et le chromosome bactérien répliqué**. Un septum (ou cloison) est formé, jusqu'à division complète de la cellule.

Lorsqu'une bactérie possède un **plasmide F**, celui-ci est capable de s'intégrer à l'intérieur du chromosome bactérien, dans cet état, la bactérie est appelée **souche Hfr** (haute fréquence de recombinaison), ce qui permet des recombinaisons entre les parties homologues de cet ADN transféré et le chromosome bactérien de la bactérie receveuse **par conjugaison**

Les transferts horizontaux de gènes sont également **permis par transformation ou transduction**.

2.2 les eucaryotes unicellulaires peuvent se reproduire par multiplication sexuée ou asexuée.

2.2.1 Cas de la reproduction sexuée

En généralisant, on peut remarquer que **la reproduction sexuée des unicellulaires eucaryotes se met en place lorsque des conditions défavorables l'imposent.**

Documents : Cf TP et bilan

- Chez les Diatomées, on l'observe **quand survient une carence ou une taille minimale**, sinon c'est la reproduction asexuée qui se manifeste intensément.
- Chez les Levures, le **cycle de développement est haplophasique**, la succession des phénomènes fécondation – méiose permet à des cellules haploïdes de former une cellule-œuf diploïde subissant la méiose et formant 4 Levures haploïdes génétiquement distinctes et on observe la **mise en place de cette reproduction sexuée en cas de modification du milieu**, elle permet alors l'apparition de nouvelles combinaisons alléliques potentiellement adaptables à ce nouveau milieu.
- Chez Chlamydomonas, le **cycle de développement est également haplophasique, lorsque le milieu est carencé**, il y a **formation d'un zygote par fusion de deux individus** formant alors un zygote **non flagellé** qui subit immédiatement une méiose pour libérer quatre nouvelles cellules haploïdes qui se multiplieront ensuite par mitoses.
- Chez les Paramécies

Document 7 : la reproduction sexuée atypique des Paramécies ou conjugaison

La **reproduction sexuée est atypique, appelée conjugaison**, du fait de l'**existence au sein de la cellule de deux noyaux de taille différente.**

*Pour information : C'est le **micronoyau diploïde qui sert à la sexualité**. Lors de la conjugaison, **deux paramécies s'accolent**, pendant que les **macronucléus dégénèrent**, les **micronucléus de chaque paramécie**, subissent alors une **méiose produisant 4 micronucléus haploïdes dont 3 dégénèrent**. Le **micronucléus restant se duplique par mitose puis les paramécies échangent l'un des deux noyaux fils et se séparent**, possédant chacune à présent un nouveau micronucléus diploïde.*

*Une fois les **Paramécies séparées**, le nouveau **micronucléus diploïde subit une série de 3 mitoses formant 8 micronucléus**, sur les 8, **4 fusionnent pour former un nouveau macronucléus qui servira aux fonctions cellulaires de base**, 3 dégénèrent et le dernier restant reforme le nouveau micronucléus qui servira à la prochaine reproduction sexuée.*

- Le plasmodium se reproduit de manière sexuée chez son hôte primaire, dans l'intestin de l'Anophèle par fusion des gamètes mâles et femelles formés chez l'hôte principal.

2.2.2 Cas de la reproduction asexuée

Documents : Cf TP et bilan

Les formes de multiplication végétative sont variées mais se réalisent de façon intense chez les eucaryotes unicellulaires.

Cette reproduction sexuée **permet une colonisation rapide du milieu favorable**, dans un contexte de **compétition interspécifique très fort**. Les ressources sont rapidement exploitées.

- Chez les levures comme *Saccharomycès*, on observe ainsi des figures de **bourgeonnement** lors de la séparation de la cellule fille.
- Les Diatomées possèdent une **MEC siliceuse formée de 2 valves**, appelée la **frustule**. **À chaque division cellulaire, chaque cellule-fille reçoit une valve et synthétise l'autre** à partir du modèle et **de taille inférieure** assurant ainsi un emboîtement et une protection de la Diatomée. **Cela induit une décroissance de la frustule jusqu'à une taille minimale limite qui déclenche la reproduction sexuée** qui produit une **cellule-œuf de grande taille**... et le cycle asexué reprend .
- *Chlamydomonas* se multiplie activement **en milieu favorable par mitoses haploïdes**
- Le trypanosome se multiplie activement par **fission binaire chez ces deux hôtes**
- Le plasmodium se multiplie très activement par reproduction asexuée ou schizogonie d'abord **dans les hépatocytes de l'Homme puis dans les hématies**

II. Les organismes unicellulaires sont en interaction permanente avec leur environnement

Comme tous les êtres vivants, le fonctionnement et **la survie des unicellulaires**, qu'ils soient autotrophes ou hétérotrophes, **dépend de l'environnement abiotique et biotique**.

1. cas des unicellulaires libres

Documents : Cf TP et bilan

Ces unicellulaires sont **en compétition avec les autres organismes** présents dans leur milieu de vie.

La **locomotion est essentielle pour permettre l'acquisition des ressources et les interactions** avec les autres organismes vivants.

➤ La paramécie

Document 8 : l'appareil ciliaire des Paramécies

Les paramécies se déplacent activement dans l'eau à la recherche de nourriture qu'elles localisent par **chimiotactisme** grâce à des **canaux ioniques mécanosensibles**. Le déplacement est permis grâce à la présence de **cils sur tout le pourtour de la membrane plasmique** dont les mouvements sont coordonnés grâce au cytosquelette.

Vivant dans un milieu hypotonique (eau douce), les paramécies **rejettent l'eau absorbée en excès grâce à des vacuoles contractiles**.

Enfin, les paramécies sont **capables de se défendre grâce** à l'exocytose de vésicules localisées entre les cils et dont le contenu glycoprotéique forme un dard rigide appelé **trichocyste**.

Remarque : si la Paramécie vit libre, ce n'est pas le cas de tous les Ciliés, comme par exemple les **Ciliés symbiotique de la panse des Ruminants**.

➤ L'algue verte *Chlamydomonas*, se **déplace également activement** dans l'eau douce, elle présente un **phototactisme positif** grâce à un photodétecteur contenu dans le chloroplaste, le **stigma**. Ses déplacements sont permis grâce à **deux longs flagelles tracteurs**

➤ les Diatomées se déplacent également par **phototactisme positif**, elles sont **capables d'adapter leur flottabilité en faisant varier le volume de globules lipidiques** dans leur cytosol, qu'elles utilisent également comme réserve énergétique.

➤ Les cyanobactéries, renferment des « **vacuoles** » **gazeuses**, ce sont des coques protéiques remplies de gaz leur permettant également **d'adapter leur flottabilité**.

Les cyanobactéries sont entourées d'une **paroi de type Gram – et d'une couche de mucilage**, gel polysidique qui se gorge d'eau et permet aux Cyanobactéries de s'assembler au sein d'un **biofilm**.

2. cas des unicellulaires vivants au sein de biofilms

Document 9 : les interactions au sein d'un biofilm

Ces biofilms ne sont pas exclusifs aux cyanobactéries et **concernent un grand nombre d'unicellulaires**. Ils **recouvrent les surfaces inertes** tels que le sable, des galets ou des rochers, **ou les surfaces externes d'autres organismes vivants** tels que les algues pluricellulaires, les racines ou la peau d'un poisson, **ou internes** comme les dents formant la plaque dentaire ou la surface intestinale constituant le microbiote.

Dans les biofilms, les **unicellulaires** peuvent être des **bactéries seules ou associées à des algues et/ou des champignons**. Ils sont **unis par une matrice extracellulaire de polymères principalement glucidiques** qui permet la **fixation au substrat et confère une résistance mécanique**. Cette matrice les **protège également des bactéricides, algicides ou antifongiques**, car elle limite leur diffusion.

Dans un biofilm, les **interactions** entre unicellulaires sont **nombreuses** :

- d'un point de vue métabolique, des unicellulaires utilisent des métabolites produits par des unicellulaires voisins, conduisant à une complémentarité entre les espèces. Certains produisent des molécules inhibant la prolifération d'unicellulaires déjà présents dans le biofilm, ou l'implantation de nouveaux unicellulaires.

- d'un point de vue informationnel, les **unicellulaires peuvent changer de phénotype sous l'effet de signaux environnementaux** comme la teneur en dioxygène, en certains nutriments et la présence de petites molécules libérées par les autres unicellulaires. **Par exemple, *E. coli* perd son flagelle, développe davantage de pili, facilitant l'ancrage, et produit une matrice extracellulaire plus abondante et riche en polysides**. Dans le cas des bactéries, la proximité physique **favorise les transferts horizontaux de gènes** grâce auxquels des gènes de résistance aux bactéricides ou d'autres caractères bénéfiques sont échangés, ce qui augmente les chances de survie du biofilm.

3. cas des unicellulaires symbiotiques

3.1 cas des lichens

Document 10 : organisation d'un lichen et bénéfices réciproques entre les protagonistes

Un lichen est une **association permanente et stable** établie entre une **algue verte unicellulaire autotrophe** (Eucaryote proche des Chlorelles) ou une **cyanobactérie** et un **champignon Septomycète hétérotrophe** dont les filaments donnent au thalle une anatomie définie.

Bénéfices pour l'algue : le mycélium du champignon sert de **support et de protection**. Il fournit des **éléments minéraux et de l'eau qu'il a prélevé, voire rendu biodisponible (P surtout)**.

Bénéfices pour le mycète : l'algue ou la cyanobactérie, **photosynthétique** fournit des glucides.

Bilan : Ces deux organismes associés acquièrent une **autonomie nutritionnelle** qui leur **permet de coloniser des milieux neufs ou arides**, ce sont des **organismes pionniers** de végétation, sensibles à la pollution (SO₂).

Remarque : les lichens sont très anciens (- 580 à - 540 Ma), sans doute parmi les premiers à avoir colonisé le milieu terrestre.

3.2 cas des bactéries Rhizobium en association avec les Fabacées (Cf SVA2)

Document 11 : les bénéfices réciproques entre Rhizobium et une Fabacée

Les racines de Fabacées présentent fréquemment des nodosités dans des sols pauvres en nitrates. À l'intérieur, on trouve des bactéries du genre Rhizobium, capables d'assimiler le N₂ atmosphérique en ammoniac. Cette **diazotrophie** est permise grâce à la synthèse d'une enzyme, la **nitrogénase**.

Les racines de Fabacées ne peuvent fixer le N₂ sans ces bactéries et les Rhizobiums libres voient leur nitrogénase inhibée par l'O₂. **C'est l'association de ces deux êtres vivants qui permet la réalisation d'une nouvelle fonction grâce à la synthèse d'une protéine chimère, la leghémoglobine** dont l'hème est synthétisée par le bactéroïde symbiotique (expression des gènes Nod) et la partie protéique par la cellule végétale.

Bénéfices pour la plante : accès à l'azote atmosphérique dans des sols pauvres en azote.

Bénéfices pour la bactérie : fourniture en glucides provenant de la photosynthèse du végétal

3.3 cas des bactéries et Ciliés de la panse des Ruminants (cf SVA1)

Document 12 : organisation fonctionnelle de l'estomac polygastrique des Ruminants

Document 13 : composition de la flore microbienne du rumen

Document 14 : bénéfices réciproques entre le ruminant et les micro-organismes de la panse

La panse des Ruminants héberge une **population très riche de micro-organismes** : bactéries, Eumycètes et Ciliés.

La panse **fonctionne comme un fermenteur**, la vache y maintient des **conditions physico-chimiques parfaitement stables** (pH 6,5, température de 40 °C) et assure un **apport constant en nutriments pour les micro-organismes** (y compris l'urée salivaire). De nombreuses interactions ont lieu au sein de la panse entre les micro-organismes, comme l'utilisation du CO₂ et du H₂ (produits par certains micro-organismes

fermentaires) par les bactéries méthanogènes, ou la phagocytose des bactéries par les Ciliés ce qui correspond à de véritables chaînes alimentaires.

Ces micro-organismes réalisent la digestion de la nourriture et notamment des polysides des parois végétales, que les Mammifères sont incapables de digérer directement **et fabriquent des nutriments** (acides gras volatils, acides aminés, vitamines) **directement utilisables par la vache. Une partie des micro-organismes est ensuite digérée dans les étapes suivantes de la digestion.**

3.4 cas d'E Coli dans l'intestin des Mammifères

Document 15 : Observation d'E coli au MEB flagellée ou non

Les bactéries E.coli vivent dans l'intestin des mammifères, où elles ont **à disposition une grande variété de nutriments**. Chez les jeunes mammifères, un nutriment essentiel est le **lactose**, (dimère de glucose et de galactose), glucide majoritaire du lait or **certaines bactéries comme E. Coli sont capables d'utiliser le lactose si celui-ci est présent dans le milieu.**

Le génome des procaryotes est organisé en opéron, (concept proposé en 1961 par Jacob et Monod) c'est à dire une **unité d'expression génétique codant** le plus souvent pour **plusieurs protéines impliquées dans une même voie métabolique et partageant de fait des processus de contrôle communs.**

Document 16 : fonctionnement de l'opéron lactose

L'opéron Lac (pour lactose) est un **opéron codant pour 3 nécessaire au catabolisme du lactose : Z, Y, A**, étant respectivement :

- la **β -galactoside perméase**, transporteur membranaire qui **permet la pénétration du lactose** dans la cellule **contre son gradient de concentration par un symport H^+**
- la **β -galactosidase** qui hydrolyse la **liaison β 1-4** entre le glucose et le galactose,
- la **β thiogalactoside transacétylase** dont le rôle physiologique n'est pas bien connu. Elle acétyle les galactosides non métabolisés par la β -galactosidase, cette acétylation permet ainsi la diffusion de ces sucres à travers la membrane plasmique et leur élimination hors de la cellule.

Ces trois enzymes (surtout les deux premières) sont donc nécessaires à l'entrée dans la cellule bactérienne du lactose extérieur et à son utilisation métabolique.

Entre le promoteur et l'opéron lactose, il existe une **courte séquence d'ADN capable de fixer un répresseur**. Cette séquence appelée **Opérateur** possède donc des **facultés de régulation de l'expression de l'opéron lac**.

Le répresseur est codé par un autre gène situé en amont de l'opéron, le **gène lacI**. Le **gène lacI s'exprime de façon constitutive, sans régulation particulière**. Il y a donc en permanence une certaine quantité de répresseur dans la cellule.

Ce répresseur est constitué de quatre sous-unités identiques possédant chacune un site de fixation pour l'allolactose. (l'allolactose est un dioside dérivé du lactose grâce à l'action d'une enzyme non déterminée).

En présence de lactose, le répresseur devient inactif et l'ARN polymérase peut alors transcrire les gènes lacZ lac Y et lacA. Cependant, le **promoteur de l'opéron lactose n'est pas très efficace**.

L'efficacité de ce dernier **peut être renforcée par la présence d'AMPc**, dont la concentration est faible en présence d'ATP et de glucose. Ainsi, la voie catabolique du lactose est réprimée tant que d'autres sources de carbone sont présentes. **L'effet de l'AMPc passe par un couple AMPc-protéine CAP** qui se fixe sur le promoteur et active les transcriptions, le tout en l'absence de glucose.

Au final, en présence de glucose et absence de lactose, la **transcription** des 3 gènes est fortement **réprimée**, elle est **modérément activée en présence de glucose et de lactose** (50 β galactosidases par cellule) et elle est **fortement activée en présence de lactose seul** (3000 unités de β galactosidase par cellule). **L'opéron Lac est donc un opéron induit.**

Remarque : il **existe également** des **opérons répressibles** comme l'**opéron tryptophane**

Document 17 : fonctionnement de l'opéron tryptophane (pour information)

4. cas des unicellulaires parasites

➤ Le Plasmodium est un **parasite intracellulaire**, comme tous les Apicomplexés, injecté dans le sang d'un animal lors de la piqûre par son vecteur, l'Anophele.

Bénéfices pour le parasite : il consomme des glucides et de l'hémoglobine présents dans le globule rouge qui lui fournissent l'énergie nécessaire à sa multiplication asexuée et à la formation des gamétocystes qui présents dans le sang pourront être prélevés par le moustique dans l'organisme duquel s'effectue la fécondation

Conséquences pour l'hôte : destruction des hématies parasitées provoquant une anémie et des fièvres puis à longue échéance, la mort.

➤ Le Trypanosome, est un **parasite extracellulaire** injecté dans le sang du Mammifère lors de la piqûre par son vecteur, la **Glossine**. Il circule dans le sang et y prolifère par reproduction asexuée et échappe à la réponse immunitaire grâce à un système génétique sophistiqué de variation de protéines membranaires (coévolution selon le modèle de la Reine rouge, cf SVK).

Bénéfices pour le parasite : il consomme le glucose du sang qui lui fournit l'énergie nécessaire à sa multiplication asexuée.

Conséquences pour l'hôte : Multiples symptômes qui ne facilitent pas le diagnostic : fièvre, maux de tête, fatigue, inflammation des nœuds lymphatiques... En l'absence de traitement, les parasites envahissent le système nerveux central en franchissant la barrière hémato-encéphalique et provoque la mort

Le **mode de vie parasitaire présente trois avantages** qui peuvent expliquer le succès de son évolution par sélection naturelle :

- ★ un être vivant constitue comme habitat un **milieu plus stable** que le milieu extérieur et **protégé des prédateurs**
- ★ les jeunes ou les œufs peuvent être dispersés tout au long des déplacements de l'hôte (si celui-ci est un animal), et assurent ainsi une **dissémination efficace**
- ★ les **dépenses énergétiques pour la recherche de nourriture** sont **très réduites**

Cependant le parasitisme représente **également certaines contraintes** auxquelles le parasite doit s'adapter :

- ★ la **discontinuité dans l'espace**, chaque hôte pouvant être apparenté à un îlot dispersé dans un environnement hostile.
- ★ la **discontinuité dans le temps**, l'hôte étant mortel
- ★ l'**hostilité de l'hôte** avec ses défenses immunitaires
- ★ la **capacité d'évolution de l'hôte**

L'impact des parasites dépend de leur nombre et la charge parasitaire peut affecter la croissance, la fécondité mais aussi la longévité des hôtes directement ou non.

5. Ces interactions sont essentielles au fonctionnement des écosystèmes

Document 18 : les différentes interactions possibles entre deux espèces au sein des écosystèmes

Les organismes unicellulaires sont des composantes clés de la biocénose.

Leurs interactions variées jouent des **rôles clés sur les populations d'organismes pluricellulaires**.

- Par leur association en biofilms, ils participent à :
 - l'altération de la roche-mère et la formation des sols
 - l'exploitation en ressources sur ou sein d'un organisme, dont ils tirent profit
- Par leur association avec un organisme pluricellulaire, ils **améliorent (symbiose) ou pénalisent (parasitisme) sa valeur sélective**. Cela **accélère (symbiose) ou ralentit (parasitisme) les flux de matière et d'énergie** réalisés par cet organisme pluricellulaire ou par la population d'individus pluricellulaires.

Document 19 : place des unicellulaires dans les flux de matière au sein des écosystèmes

- Par leurs diverses capacités métaboliques, les organismes unicellulaires sont des **acteurs irremplaçables de la circulation de la matière au sein des écosystèmes où ils occupent tous les niveaux trophiques**.

Ils ont également un rôle fondamental en tant que **minéralisateurs de la nécromasse** (déchets, litière, cadavres).

Dans les sols, le cycle du Carbone et le cycle de l'Azote progressent grâce à ces unicellulaires :

- pour le cycle du Carbone, la respiration et la fermentation de molécules organiques carbonées mènent progressivement à l'oxydation complète, libérant du CO₂.
- pour le cycle de l'Azote : les flux engendrés par les processus biologiques, contribuent à 95 % des flux totaux en azote : l'oxydation des protéines, des aa ou de l'urée (ammonification, nitrification) forment des nitrates pouvant être utilisé par les organismes végétaux pluricellulaires.

III. Les unicellulaires reflètent une histoire évolutive complexe du vivant

1. Les unicellulaires appartiennent à des groupes très variés de l'arbre du vivant et forment un groupe paraphylétique

Document 20 : arbre phylogénétique simplifié du vivant centré sur les unicellulaires

Les unicellulaires procaryotes se positionnent dans les groupes des **Archées** et des **Eubactéries** dont l'état unicellulaire est non seulement **fondamental** et correspond au caractère **ancestral**.

En revanche, les unicellulaires eucaryotes regroupés avant dans le **Règne des Protistes** selon la classification de Whittaker (1969) se positionnent dans :

- des groupes d'unicellulaires tels que :

- les **Ciliés** dont fait partie les Paramécies ou les **Apicomplexes** comme le Plasmodium appartenant au taxon plus large des **Alvéobiontes**
- les **Euglénobiontes** dont font partie le Trypanosome.

- mais aussi dans des groupes de pluricellulaires très différents où l'état pluricellulaire représente un caractère dérivé et où l'**unicellularité** correspond à un retour à l'état ancestral et donc une **évolution régressive** :

- les **Diatomées** font partie du groupes des **Straménopiles**
- **Chlamydomonas** sp appartenant au **Chlorobiontes**
- **Saccharomyces cerevisiae** appartenant aux **Eumycètes**

On peut donc **discuter autour de la définition phylogénétique du groupe des « Protistes »**, le regroupement des unicellulaires eucaryotes peut être défini comme polyphylétique puisqu'il exclus à partir de l'ancêtre commun un grand nombre de descendants **cependant un groupe polyphylétique est construit sur le partage d'un caractère dérivé** comme par exemple le groupe des « algues » construit sur la « capacité photosynthétique » **alors qu'un groupe paraphylétique est construit sur le partage d'un caractère ancestral**. L'état unicellulaire étant une forme ancestrale du caractère, on considérera donc le groupe des unicellulaires eucaryote comme un groupe paraphylétique.

Il n'en reste pas moins que ces unicellulaires assurent l'ensemble des fonctions de nutrition, de relation et de reproduction tout en présentant des **organisations et des métabolismes très divers** qui témoignent de **convergence** ou de **régression évolutive**.

2. Les unicellulaires sont des moteurs pour l'évolution

2.1 Les unicellulaires participent à l'évolution réticulée

Document 21 : importance des transferts horizontaux dans la complexification des arbres phylogénétiques

Les processus d'endosymbiose et les transferts horizontaux de gènes, courants chez les bactéries, plus rares chez les eucaryotes **forment des liens entre branches distantes sur un arbre phylogénétique**.

La place des espèces est alors distribuée en réseau plutôt que des branches parallèles distinctes dans un arbre phylogénétique, on parle d'**évolution réticulée**.

2.2 Les unicellulaires participent à la coévolution

Les unicellulaires par leurs interactions permanentes exercent une pression de sélection sur les autres êtres vivants.

Document 22 : importance des relations interspécifiques dans la co-évolution, exemple de la relation parasitaire du Trypanosome avec l'Homme

Dans l'exemple des parasites, qu'ils soient endo- ou ectoparasites, ces derniers se caractérisent notamment par une **extrême spécialisation dans l'exploitation des ressources**. Cette spécialisation n'implique pas seulement, lorsqu'elle est extrême, une dépendance totale vis à vis de l'hôte mais signifie aussi que **l'espèce parasite ait développé des adaptations biochimiques pour échapper au système de l'hôte**.

Par exemple, dès que les trypanosomes se multiplient, le système immunitaire humain crée des anticorps qui les neutralisent. Leur disparition est presque totale mais certains trypanosomes acquièrent par mutations de nouvelles glycoprotéines membranaires qui les rendent indétectables et se multiplient des nouveaux jusqu'à ce que le système immunitaire réagisse de nouveaux et ainsi de suite.

Cette "bataille moléculaire" est le fruit de la coévolution entre le parasite et son hôte, chacun des partis essayant de trouver une parade pour contourner les systèmes de défense de l'autre.

IV. En conclusion

Les unicellulaires malgré leur simplicité apparente sont **capables de réaliser toutes les fonctions biologiques et de peupler tous les écosystèmes terrestres y compris les plus extrêmes**.

Ce sont des **acteurs majeurs de l'évolution** et leur place dans l'arbre du vivant montre que **l'évolution peut être régressive**.

L'Homme se sert de ces unicellulaires dans

- les transformations alimentaires : fermentations et productions de métabolites primaires tels des protéines alimentaires, des acides aminés ac glutamique, thréonine , des acides organiques acide acétique, acide citrique, de l'éthanol, des polysaccharides dextrane, alginate, des vitamines B12, B2, précurseur vitamine C...
- la fabrication de médicaments fermentations et productions de métabolites secondaires tels des antibiotiques (pénicilline), des produits actifs ergotamine pour migraines, valiomaline pour diabète, des arômes géraniol, des insecticides, des hormones végétales gibbérellines...
- les biotechnologies : rôle fondamental des plasmides dans les transferts génétiques et la production d'OGM