

PRÉPAS SCIENTIFIQUES

# BCPST

## 2<sup>e</sup> année

CONFORME AU  
NOUVEAU  
PROGRAMME

Ouvrage coordonné par Olivier Dautel

Coécrit par Marianne Algrain-Pitavy • Cédric Bordi • Alix Helme-Guizon • Benjamin Mollier • Audrey Proust • Françoise Saintpierre • Marlène Vabre

# Biologie Géologie

TOUT-EN-UN

COURS • MÉTHODES • ENTRAÎNEMENTS ET SUJETS • CORRIGÉS



### Tout le cours avec :

- Les notions essentielles
- Plus de 500 schémas tout en couleurs
- 18 schémas-bilans



### Un entraînement complet aux concours avec :

Des QCM d'auto-évaluation, des études de documents, des sujets d'oraux et des sujets de synthèse



### Des outils inédits avec :

- Des fiches de remédiation
- Des fiches dédiées aux TIPE
- Un lexique



### Tous les corrigés détaillés



OFFERT EN LIGNE

- ▶ + de 180 **flashcards** interactives
- ▶ des **vidéos**, **fiches techniques** et **sujets** d'entraînement inédits

Vuibert



PRÉPAS SCIENTIFIQUES

BCPST

2<sup>e</sup> année

CONFORME AU  
NOUVEAU  
PROGRAMME

# Biologie Géologie

TOUT-EN-UN

COURS • MÉTHODES • ENTRAÎNEMENTS ET SUJETS • CORRIGÉS

Ouvrage collectif coordonné par :

**Olivier Dautel**, professeur en BCPST 2 au lycée Henri-Poincaré à Nancy

Co-écrit par :

**Marianne Algrain-Pitavy**, professeure en BCPST 1 au lycée Saint-Louis à Paris

**Cédric Bordi**, professeur en BCPST 2 au lycée Bellevue à Lyon

**Alix Helme-Guizon**, professeure en BCPST 2 au lycée Le-Fresne à Angers

**Benjamin Mollier**, professeur en MPSI au lycée Blaise-Pascal à Orsay

**Audrey Proust**, professeure en BCPST 1 au lycée Lakanal de Sceaux

**Françoise Saintpierre**, professeure en BCPST 2 au lycée Hoche à Versailles

**Marlène Vabre**, professeure en BCPST 1 au lycée Lakanal de Sceaux

Vuibert

**Retrouvez notre collection  
complète ici :**



Les cartes de ce livre ont été gracieusement fournies par les éditions du BRGM. Nous remercions particulièrement Frédéric Simien pour sa gentillesse et sa disponibilité.

**Cartographie et infographie :**

- Coordination : Valérie Goncalves
- Réalisation : Christel Bassi-Parolini, Valérie Goncalves, Carl Voyer et Lionel Auvergne

Les crédits concernant les photographies et les autres documents se trouvent à la fin de ce livre.

ISBN : 978-2-311-21298-3

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. Le « photocopillage », c'est l'usage abusif et collectif de la photocopie sans autorisation des auteurs et des éditeurs. Largement répandu dans les établissements d'enseignement, le « photocopillage » menace l'avenir du livre, car il met en danger son équilibre économique. Il prive les auteurs d'une juste rémunération. En dehors de l'usage privé du copiste, toute reproduction totale ou partielle de cet ouvrage est interdite. Des photocopies payantes peuvent être réalisées avec l'accord de l'éditeur. S'adresser au Centre français d'exploitation du droit de copie : 20, rue des Grands-Augustins, F-75006 Paris. Tél. : 01 44 07 47 70.

© Vuibert - septembre 2022 - 5, allée de la 2<sup>e</sup> D.B., 75015 Paris - Site Internet : <http://www.vuibert.fr>



# SOMMAIRE



## Ressources numériques

Pour accéder aux ressources numériques en ligne, retrouvez nos codes à flasher tout au long du livre.

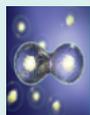
Préface .....	5
Avant-propos .....	7



## PARTIE 1

## MÉTHODES ET CONSEILS POUR ASSURER SA 2<sup>E</sup> ANNÉE ET SES CONCOURS

**1** ▶ Les 9 conseils pour réussir, p. 10 — **2** ▶ S'organiser pour les colles, p. 12 — **3** ▶ Réussir l'épreuve de synthèse en biologie, p. 13 — **4** ▶ Réussir l'épreuve d'étude de documents en biologie-géologie, p. 15 — **5** ▶ S'organiser pour les TIPE, p. 15 — **6** ▶ Présentation des concours, p. 16 — **7** ▶ Les écoles accessibles après une BCPST, p. 19 — **8** ▶ Les dates à retenir pendant l'année de BCPST 2, p. 21 — **9** ▶ S'organiser pour les révisions pendant les grandes vacances BCPST 1-BCPST 2, p. 22 — **10** ▶ S'organiser pour les révisions avant les concours, p. 22.



## PARTIE 2

## BIOLOGIE

<b>Chapitre 1.</b> Regards sur les organismes unicellulaires .....	27
<b>Chapitre 2.</b> Le développement post-embryonnaire des Angiospermes : adaptations et plasticité phénotypique .....	73
<b>Chapitre 3.</b> La diversification des génomes .....	115
<b>Chapitre 4.</b> La reproduction des Embryophytes .....	153
<b>Chapitre 5.</b> La reproduction sexuée des Mammifères .....	197
<b>Chapitre 6.</b> Les étapes du développement embryonnaire chez les Vertébrés .....	243
<b>Chapitre 7.</b> Les mécanismes du développement : exemple du développement du membre des Tétrapodes .....	285

**Chapitre 8.** Intégration d'une fonction à l'échelle de l'organisme : la circulation sanguine chez les Mammifères ..... 325

**Chapitre 9.** Communications intercellulaires chez les Métazoaires ..... 383

**Chapitre 10.** Les mécanismes de l'évolution et l'analyse des arbres phylogénétiques pour construire des scénarios évolutifs ..... 437



## **PARTIE 3** BIOGÉOSCIENCES

**Chapitre 11.** Le cycle du carbone ..... 511

**Chapitre 12.** Le cycle de l'azote ..... 541

**Chapitre 13.** Les sols ..... 571

**Chapitre 14.** Climat et variabilité climatique ..... 629



## **PARTIE 4** GÉOLOGIE

**Chapitre 15.** Le magmatisme ..... 673

**Chapitre 16.** Le métamorphisme, un marqueur de la géodynamique interne ..... 735

**Chapitre 17.** Les risques et les ressources géologiques ..... 777

**Chapitre 18.** Les grands ensembles géologiques ..... 819

Dossier géologique ..... 869

Lexique ..... 886



### Ressources numériques

#### Sujets de synthèse inédits

Retrouvez 6 sujets de synthèse à télécharger.

[www.lienmini.fr/40895-SUJETS-A](http://www.lienmini.fr/40895-SUJETS-A)



#### Sujets d'oraux complémentaires pour les ENS

Retrouvez des sujets corrigés à télécharger.

[www.lienmini.fr/40895-ENS](http://www.lienmini.fr/40895-ENS)



# Préface

## Développer ses racines pour mieux se mettre en mouvement

Les enjeux environnementaux, sanitaires et alimentaires au seuil desquels nos sociétés sont engagées demandent des réponses nouvelles, rationnelles et pérennes. Les générations qui se forment aujourd'hui auront à limiter les conséquences indésirables des perturbations environnementales et sanitaires, à s'adapter et à identifier de nouvelles opportunités touchant le quotidien même de leur concitoyens. Nos sociétés changeront positivement parce que les générations qui viennent auront l'audace, l'énergie et les compétences pour être actrices de ces changements.

Force est de constater que pour la plupart de ces grands enjeux (érosion de la biodiversité, émergence des futures pandémies, évolution de l'agriculture et de l'alimentation, mutations de nos sociétés sous l'influence du changement climatique, etc.), les sciences de la vie et de la Terre ont beaucoup à dire. Les options durables pourront émerger d'esprits bien préparés capables d'aborder la complexité de systèmes vivants, et ne pas seulement la réduire à une somme de mécanismes isolés. Pour cela, il faut mettre en perspective le détail dans le tout, prendre du recul pour voir dans le tout l'intégration des détails. L'avenir est au décloisonnement disciplinaire et aux visions holistiques. Le programme de BCPST actuel que ce livre contribue à maîtriser, contribue à cette vision globale des phénomènes naturels.

Faire une classe préparatoire BCPST, c'est choisir de domestiquer la compréhension du monde vivant et de l'histoire de la Terre. Les échelles de temps et d'espace traversées sont vertigineuses, de l'acide aminé à la biosphère, du grenat à la montagne, du milliard d'années à la nanoseconde. C'est aussi comprendre la vie dans son quotidien : faire le lien entre le fruit que l'on mange et la dissémination des graines, interpréter la morphologie d'un paysage, décrire le passage d'une cellule unique à un organisme différencié, etc. C'est une phase d'apprentissage enthousiasmante, qui marque une vie entière. L'acquisition durable de fondamentaux solides arme intellectuellement pour aborder les questions futures.

Cette formation, même si elle repose principalement sur des connaissances stabilisées, est aussi le moyen d'acquérir une certaine humilité vis-à-vis de la production de connaissances. L'apprentissage doit s'accompagner d'explications et de réflexion sur les modalités de construction du savoir scientifique. Sans connaissance des processus qui lui ont donné naissance, le savoir scientifique peut être relégué au même niveau qu'une simple opinion ou une croyance. Ces explications sont plus que jamais nécessaires, à une époque où une partie de nos concitoyens, et pas forcément les moins informés, vont au-delà du doute raisonnable et mettent en cause des savoirs que l'on pensait stabilisés, voire les modalités de fonctionnement de la science elle-même. En science, il y a un accord sur le désaccord. La multiplicité des points de vue même apparemment incompatibles, ne remet en cause ni la démarche ni le fait établi. C'est une leçon pour la démocratie. Ne pas être d'accord avec son collègue, le pousser dans ses retranchements, émettre des doutes permet de consolider notre bien commun : la connaissance scientifique.

Plus pratiquement, l'étudiant qui se forme aujourd'hui devra tout à la fois s'appuyer sur un solide socle de connaissances et, demain, apprendre à le mettre en application dans les nombreux métiers qui lui seront ouverts. Si la vie professionnelle peut paraître encore loin à l'étudiant(e) qui lit ces lignes, il est très probable qu'il, ou elle, sera amené à changer de métier plusieurs fois au cours de sa carrière. Les réflexes standardisés, la reproduction des solutions du passé n'apporteront pas la créativité et l'innovation nécessaires aux changements. À partir de racines bien développées, il est plus facile d'imaginer s'adapter.

À l'aube de cette deuxième année de BCPST, ce sont surtout des vœux d'encouragement que je veux transmettre. Gravier une montagne n'est facile pour personne. La motivation en sera le moteur. L'accompagnement bienveillant de vos professeurs et les bons ouvrages en seront les tuteurs. Connaissant la qualité de l'implication des auteurs dans cette formation, ce livre sera, j'en suis sûr, un excellent compagnon de route. Sa lecture à différents niveaux, la mise en évidence de l'essentiel, la qualité de ses explications seront je l'espère autant de soutiens dans cette période rude mais ô combien enrichissante.

Je vous souhaite de trouver dans l'effort, la satisfaction de découvrir et de comprendre le monde, et je suis convaincu que ce livre saura vous guider vers cet objectif.

**Samuel Rebulard**

Agronome, professeur agrégé à l'Université Paris-Saclay  
Co-responsable de la préparation à l'agrégation externe Sciences de la Vie,  
Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Paris-Saclay, ENS, ENS Paris-Saclay,  
Muséum National d'Histoire Naturelle.

# Avant-propos

L'objectif de cet ouvrage est d'accompagner les étudiants en seconde année de BCPST sur le chemin de la réussite.

C'est pourquoi, l'étudiant peut y trouver l'ensemble des **connaissances**, des **compétences** et des **capacités** exigibles, en **biologie** et en **géologie**, conformes aux **programmes en vigueur à la rentrée 2021**. Ces programmes sont à retrouver en version synthétique au début de chaque chapitre et sont téléchargeables en intégralité grâce à un QR code dédié.

L'étudiant(e) disposant d'un cours personnel, le **cours de cet ouvrage se concentre sur l'essentiel** et cible les notions-clés par des **encarts « À retenir »**.

Des **encarts « Attention ! »** permettent à l'étudiant d'éviter les pièges les plus courants.

Le cours est volontairement synthétique, il utilise des **termes scientifiques fondamentaux**, dont les termes **exigibles aux concours** sont **surlignés** et se retrouvent dans un lexique complet en fin d'ouvrage. Régulièrement, des **liens avec d'autres chapitres de 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> années** renforcent la vision d'ensemble et mettent en valeur la cohérence du programme.

**Au début de chaque chapitre**, l'étudiant trouvera une « **Fiche remédiation** » présentant en quelques points les connaissances du lycée et/ou de BCPST 1, prérequis à la bonne compréhension des nouvelles notions abordées en BCPST 2. Cette fiche permettra à tous les élèves de remobiliser leurs connaissances et à ceux n'ayant pas suivi l'enseignement de Sciences de la vie et de la Terre en terminale (et, éventuellement, en Première) de combler leurs lacunes.

**À la fin de chaque chapitre**, l'étudiant(e) au mode d'apprentissage visuel, pourra balayer l'ensemble du chapitre grâce à un **schéma bilan**.

L'étudiant(e) qui souhaite évaluer son niveau de connaissance, trouvera en **début de chapitre « Les 10 définitions à maîtriser »** et **10 « Flashcards » interactives**, En **fin de chapitre**, au début des exercices, un **QCM** est également proposé. Tous les QCM sont corrigés en détails.

Une approche multidisciplinaire est souvent demandée aux étudiants de BCPST. Pour cela des **focus « Physique - Chimie »** et **« Mathématiques - Informatique »** ainsi que des encarts **« Pour aller plus loin »** apportent un éclairage sur des notions transversales entre les disciplines scientifiques.

La réussite de chaque étudiant passe par l'**entraînement aux épreuves des concours AgroVéto, G2E et ENS**. Dans cette optique, l'étudiant pourra s'entraîner sur **trois sujets d'étude de documents**, inédits ou issus de sujets de concours très récents, intégrés **à la fin de chaque chapitre de biologie**, comme de **géologie**. Le niveau de difficulté et le temps conseillé de ces sujets sont clairement identifiés par un système de puces ●●○ (30 min.). Tous les sujets sont corrigés en détails et assortis de nombreux *[conseils méthodologiques]*.

La réussite de chaque étudiant passe également par l'**entraînement aux épreuves orales des concours**. Pour se préparer aux épreuves orales du **concours AgroVéto**, l'étudiant trouvera **deux sujets d'oral de biologie** corrigés à la fin de chaque chapitre de biologie.

Enfin, pour se préparer aux épreuves orales du **concours ENS en géologie comme en biologie**, l'étudiant trouvera une **liste non exhaustive des sujets proposés les années précédentes**. Le corrigé de certains d'entre eux est disponible en ligne (voir page 4 pour le lien vers la ressource).

L'ouvrage, dans **ses premières pages**, propose à l'étudiant des **conseils méthodologiques** pour l'aider à améliorer ses méthodes d'apprentissage, à mieux cerner les exigences et attendus des colles, des TIPE et des différentes épreuves écrites des concours AgroVéto (y compris l'École Polytechnique (X), G2E et ENS). Ces premières pages prodiguent également des **conseils de révisions** durant les grandes vacances entre la 1<sup>re</sup> et la 2<sup>e</sup> année, la mise à profit de la 2<sup>e</sup> année pour revoir le programme de 1<sup>re</sup> année et les révisions finales durant les dernières semaines précédant les épreuves des concours.

La formation des étudiants de BCPST est complète et exigeante, car elle donne l'opportunité à chacun d'eux d'intégrer de **nombreuses écoles** puis d'**exercer des métiers très divers**, mais toujours passionnants. Pour **éclairer le choix** des étudiants dans la construction de leur projet de poursuite d'étude et renforcer ainsi leur motivation durant ces années de préparation, chaque chapitre se termine par une partie « **TIPE : Un enjeu, une école, un métier** ». Chacune d'entre elles aborde un domaine professionnel accessible après une BCPST et se focalise sur une ou deux écoles en précisant « **Les principaux domaines de formation** », « **Les doubles diplômes et passerelles** », « **La mobilité avec l'étranger** », et « **Un métier : les secteurs et entreprises de recrutement** ».

Cet ouvrage souhaite participer à la réussite des étudiants de BCPST, mais il constituera également un outil efficace pour les **étudiants de Licence** de biologie comme de géologie, ainsi que pour tout **étudiant se préparant aux concours d'enseignement** comme le **CAPES et l'agrégation**.

Les auteurs remercient leurs étudiants passés et présents, qui, par leurs interrogations, leur curiosité, leurs angoisses et leur énergie, sont à l'origine de cet ouvrage et ont parfois servi de cobayes. Les auteurs remercient particulièrement leur famille pour leur soutien de tous les instants et leur patience. Les auteurs tiennent aussi à remercier les éditions Vuibert pour leur confiance. Merci à Aurélie Farfarana et à son équipe pour sa disponibilité et son professionnalisme.

## LES PICTOGRAMMES

Cet ouvrage a été conçu comme un **outil de révisions** pratique et agréable pour l'élève. Des rubriques, agrémentées de **pictogrammes**, permettent une lecture non linéaire et des **points de repères** visuels.



### À retenir

Pour réviser et maîtriser les notions et les définitions essentielles du programme. Elles sont à connaître par cœur.



### Attention !

Pour mettre en avant les points de vigilance.



### Focus Physique-Chimie

Pour faire un point sur une notion passerelle de Physique ou de Chimie à maîtriser.



### Focus Mathématiques-Informatique

Pour faire un point sur une notion passerelle de Mathématique ou sur l'utilisation de l'informatique avec Python par exemple.

# PARTIE 1

## MÉTHODES ET CONSEILS POUR ASSURER SA 2<sup>E</sup> ANNÉE ET SES CONCOURS

### Plan de la partie

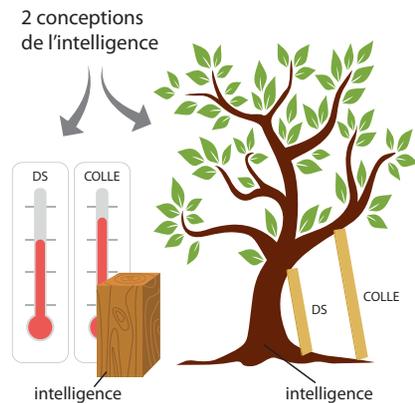
<b>1</b> ▶ Les 9 conseils pour réussir	10
<b>2</b> ▶ S'organiser pour les colles	12
<b>3</b> ▶ Réussir l'épreuve de synthèse en biologie	13
<b>4</b> ▶ Réussir l'épreuve d'étude de documents en biologie-géologie	15
<b>5</b> ▶ S'organiser pour le TIPE	15
<b>6</b> ▶ Présentation des concours	16
<b>7</b> ▶ Les écoles accessibles après une BCPST	19
<b>8</b> ▶ Les dates à retenir pendant l'année de BCPST 2	21
<b>9</b> ▶ S'organiser pour les révisions pendant les grandes vacances BCPST 1-BCPST 2	22
<b>10</b> ▶ S'organiser pour les révisions avant les concours	22



# 1 Les 9 conseils pour réussir

## 1. Apprendre est d'abord une question d'état d'esprit

Une étude scientifique de Carol Dweck a montré que les conseils méthodologiques ne sont efficaces que si les étudiants considèrent que leur capacité à apprendre et à maîtriser une matière **n'est pas figée une fois pour toute, mais peut s'améliorer**. En effet, si vous considérez que votre intelligence, ou votre capacité pour les mathématiques est un don, une capacité innée, fixée pour la vie, alors toute évaluation mesure une fois pour toute cette capacité. Si vous échouez à un devoir et que vous pensez que cela mesure votre intelligence, alors vous en tirez la conclusion que « vous êtes bête », non ? Il n'y aura rien à y faire, et toute évaluation sera très stressante, car elle risquera de révéler que vous n'avez pas « assez d'intelligence », ou de « don pour les langues », etc.



Deux conceptions de l'intelligence et des capacités.

Au contraire, si vous pensez que les **performances sont le résultat des stratégies que vous avez mises en place pour bien comprendre et apprendre, et de vos efforts**,

alors tout est différent. Vous contrôlez la situation, en portant un diagnostic et en évaluant l'efficacité de votre méthode et de votre organisation, et en prenant des mesures d'amélioration. Dans l'étude de Carol Dweck, il suffisait aux étudiants de porter leur attention sur les efforts et les progrès pour changer d'état d'esprit et pouvoir mettre en œuvre les conseils de méthodologie. Les étudiants devenaient plus actifs, **conscients de leurs méthodes d'apprentissage et capables d'en changer selon leurs besoins**. Ils ont **mieux réussi** que les étudiants qui attribuaient la réussite à un niveau d'intelligence, et ont plus facilement traversé les difficultés, sans se décourager, en **utilisant mieux les conseils et les informations sur leurs erreurs**.

## 2. Pour apprendre, vous devez d'abord bien comprendre

Si vous essayez d'apprendre une information qu'on ne comprend pas, ou qui est confuse, vous utiliserez beaucoup de ressources mnésiques, car vous ne pourrez pas la relier à ce que vous connaissez déjà, et qu'elle n'a pas vraiment de sens pour vous. **Il n'est pas possible de remplacer de la compréhension par de la mémorisation**. Vous n'aurez pas assez de mémoire, et les évaluations sont conçues pour sanctionner cette stratégie. Ce qui est le plus efficace est de **chercher à comprendre pendant le cours, en posant des questions**. Si vous prenez des notes en **reformulant**, en résumant les idées, plutôt qu'en retranscrivant les mots du prof, vous verrez si vous comprenez ou non.

## 3. Soyez actif pendant le cours et relisez les cours le soir

Afin de ne pas perdre de temps, il faut mémoriser pendant le cours. Bien sûr, vous ne pourrez pas mémoriser les détails, puisque votre énergie sera avant tout dirigée vers le fait de comprendre. L'attention dirigée est le mécanisme même qui déclenche la mise en mémoire. Essayez

de relier ce que vous entendez à d'autres connaissances, d'anticiper ce qui devrait suivre, etc.

**Le soir même, vous devez relire** (même très rapidement) vos cours de la journée pour stabiliser leur trace mnésique. Si vous ne réactivez pas vos souvenirs, ils vont s'évanouir en 24h.

#### 4. Travaillez portable éteint, et faites du sport

En premier lieu, sachez que PERSONNE n'est multitâche, personne ! Les images en IRM montrent que l'attention saute d'une tâche à l'autre, et que **l'attention prend environ 10 secondes pour se recentrer**. Pour éviter les distractions, le plus efficace est de vous fixer un horaire de travail. Éteignez le portable, car un signal visuel distrait autant qu'un son. **L'attention peut s'améliorer par entraînement.**

La mémorisation est fortement réduite par les stress, la faim, le cannabis et l'alcool. **Faites 10 minutes de sport par jour**, au moins, pour augmenter la production de neurones et diminuer le stress.

#### 5. Pour mémoriser, créez vos propres moyens mnémotechniques

En mémorisation à court terme, on ne peut mémoriser que 7 à 10 mots. Pour de meilleures performances, utilisez les techniques suivantes :

- **Regroupez les éléments à mémoriser.** Par exemple, apprenez les définitions d'un mot, son contraire et tous les mots autour de cette idée en créant une définition qui les relie tous.
- **Associez l'information à mémoriser à un circuit déjà très stable.** Il y a plusieurs trucs : (1) Créez une anagramme avec les initiales des mots de la définition, ou une phrase avec les débuts de mots, (2) Créez une image qui réunisse tous les éléments de la définition, et qui contienne une émotion, qui soit choquante, ou qui mette en scène des personnes très familières et en mouvement.
- **Pensez à créer des moyens mnémotechniques pour bloquer une réponse erronée.** Nous avons un premier circuit neuronal très rapide, mais intuitif et non logique. S'il donne une mauvaise réponse, apprendre la bonne réponse ne fera pas disparaître cette réponse spontanée erronée. Le deuxième circuit est logique, mais plus lent. Vous devez donc trouver un moyen d'inhiber la réponse rapide fautive. Créez des moyens mnémotechniques pour cela, comme précédemment.

#### 6. Pour réviser ne vous contentez pas de relire, à cause du piège de l'amorçage

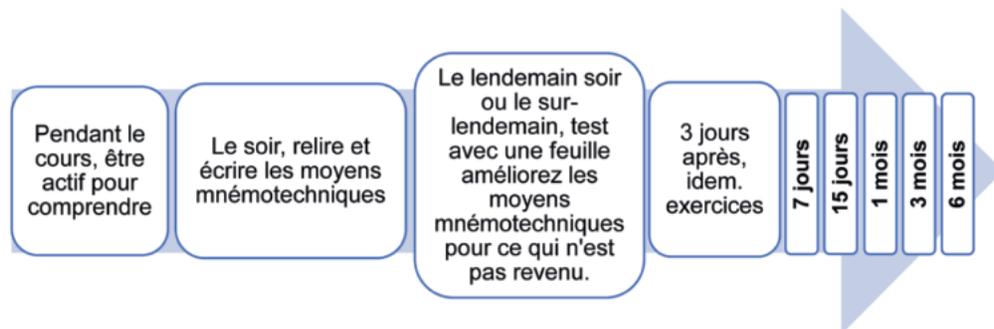
Quand vous relisez votre cours, il vous semble que vous le connaissez bien. Mais voilà, arrivé devant la feuille de DS, impossible de se rappeler ce qui semblait pourtant si familier. Pourquoi ? C'est le piège de l'amorçage ! L'amorçage est l'activation partielle du souvenir grâce à un indice. Sur vos feuilles de cours, sans que vous en soyez conscient, il y a de très nombreux indices d'amorçage et vous faites des mouvements oculaires inconscients. Pensez à tester vos connaissances, cours fermé.

#### 7. Orientez votre mémorisation en fonction de son but

Mémoriser n'est pas un but en soi. Pour savoir ce que vous devez apprendre, il vous faut **savoir comment vous aurez besoin d'utiliser cette information**. Testez-vous pour voir si vous pouvez réutiliser cette information sous la forme attendue aux concours. Expliquer à quelqu'un est un très bon test.

## 8. Planifiez vos révisions car c'est le secret de la mémorisation à long terme

La **période de 1 à 3 jours est la période critique** durant laquelle le souvenir se consolide ou s'efface. Si vous ne réactivez pas un nouveau souvenir avant le délai de 48 heures, votre effort initial d'apprentissage est complètement perdu ! C'est donc la **régularité** qui permet un apprentissage rapide et aisé. Un planning de révision idéal serait :



Proposition de planning de révision.

Vous pouvez utiliser des **post-it** à mettre sur vos cours avec la **date de la prochaine révision**. Avec cette méthode c'est très satisfaisant de voir que la mémorisation se fait vraiment à très long terme, puis définitivement. Il faut donc **ajuster** les méthodes de mémorisation et les intervalles de révision pour conserver ce plaisir, qui est la clé de la motivation à long terme.

## 9. Ne croyez pas que vos capacités sont fixées et qu'elles vous empêchent de progresser

Une « mauvaise note » n'est en rien une preuve que vous « êtes mauvais », mais simplement une difficulté passagère. N'ayez pas un état d'esprit figé, car celui-ci ne vous permet pas de progresser : il vous dirige vers ce que vous savez déjà faire et il vous fait éviter ce qui est difficile. En vous **entraînant régulièrement à vaincre des difficultés par des efforts et des bonnes stratégies** vous deviendrez de plus en plus performant.

## 2 S'organiser pour les colles

La plupart des colles que vous aurez au cours de vos deux années de prépa seront calquées sur le modèle de l'**oral du concours commun Agro-Véto**.

### 1. La préparation

- Le colleur vous fournit un **sujet de synthèse courte** (ou « colle sèche ») avec un **document à intégrer dans votre présentation**, ainsi qu'un **ensemble documentaire tenant sur une page** [au concours, vous avez le choix entre 2 sujets de synthèse et le thème de l'ensemble documentaire est le même que celui de la synthèse].
- Vous avez **30 minutes** pour préparer votre tableau de colle sur la synthèse courte et regarder rapidement les documents [au concours, vous avez du papier brouillon à disposition dès cette phase de préparation, et il est interdit d'écrire sur les documents].
- Pendant ce temps de préparation, un **formulaire biochimique** est disponible.

**Il est fortement conseillé de ne pas négliger la lecture des documents lors de la phase de préparation. Mais sans y consacrer trop de temps car le jury n'attend pas une interprétation complète dès le début de la seconde partie de l'entretien.**

## 2. La présentation

- Vous **exposez votre synthèse courte** durant **8 minutes** maximum en y incluant le document fourni, puis le colleur vous pose des **questions** durant **7 minutes**. Il faut **intégrer dans votre exposé, le document fourni**, qui est généralement un document classique qui vous permet d'argumenter, d'illustrer un des points attendus [*il est inutile de le redessiner au tableau - utilisez-le comme une illustration personnelle*].
- Et enfin, le colleur, comme le jury au concours, vous **questionne sur l'ensemble documentaire** durant 15 minutes maximum. Il cherche à éclaircir les points confus et à savoir si vous connaissez des éléments reliés au sujet, mais que vous n'avez pas évoqués spontanément lors de votre exposé. **Ces questions ne sont PAS une correction ou, le jour du concours, ne sont pas destinées à vous déstabiliser.** Par exemple, il pouvait être tout à fait judicieux de ne pas évoquer tel aspect, car c'est une idée peu importante pour le sujet. Néanmoins, dans ses questions, le jury peut chercher à savoir si vous connaissez ce point.

## 3. Quelques conseils

Lors de **votre exposé** :

- soyez **clair, calme et concis** (l'exposé est court, ne vous perdez pas dans les détails) ; ne parlez pas plus vite pour en dire plus ! C'est une épreuve de synthèse, donc vous serez évalué(e) sur votre capacité à résumer un sujet complexe ;
- insistez sur votre **démarche** en faisant des liens entre les parties ;
- soyez **dynamique et interagissez** avec le tableau. Vous devez montrer sur chaque schéma l'élément dont vous êtes en train de parler.

**Réciter des morceaux de cours sans montrer le lien avec le sujet ne rapporte aucun point.**

Lors du **questionnement sur les documents** :

- soyez **réactif et interagissez** avec le jury qui, par son questionnement, vous guidera pour que votre interprétation soit complète ;
- décrivez simplement les résultats en montrant que vous avez compris les conditions expérimentales (intérêt des dispositifs, de la technique employée etc.) ;
- repérez la ou les **expériences témoins** ;
- proposez des **interprétations** : ne vous contentez pas de décrire ;
- utilisez un **raisonnement scientifique**, des déductions logiques des résultats ;
- **reliez** les documents entre eux si possible ;
- utilisez vos **connaissances théoriques**, mais **sans les réciter**, pour limiter vos hypothèses et pour les compléter.

## 3 Réussir l'épreuve de synthèse en biologie

Cette épreuve est d'une durée de **3 heures** au concours AgroVéto. Le sujet est formulé en quelques mots, avec parfois 2 ou 3 lignes de précisions.

**Au brouillon (30 minutes)**

- Faites 10 à 15 minutes de brainstorming où vous écrivez les **termes du sujet** et leurs définitions puis vous notez tout ce qui vous paraît important en relation avec eux.

**Remémorez-vous les grandes parties du programme** traitées en cours et identifiez les notions liées au sujet.

- Réfléchissez à quelle(s) échelle(s) doit être traité le sujet : **échelle de temps** (durée de vie cellulaire, durée de vie d'un organisme...) ou **d'espace** (molécule, cellule, organisme, écosystème).
- Balayez tous les aspects du sujet : **Où ? Quand ? Comment ?**
- Elaborez en 10 minutes un plan logique, avec un cheminement explicite (pas seulement une accumulation d'idées).
- Notez les idées essentielles de l'**introduction** et de la **conclusion** au **brouillon**, mais surtout pas le corps du sujet, vous n'avez pas le temps.

### **Introduction (une demi-page environ)**

- Définissez **précisément** tous les termes du sujet
- Annoncez de la **problématique** (le fil conducteur de votre exposé)
- Présentez **succinctement** (1 ou 2 phrases) le **plan** que vous allez suivre et sa logique (chronologique, par échelle, par mécanisme, par fonction, etc.).

### **Développement**

- Le **plan doit être explicite** avec au moins **deux niveaux de division** (grandes parties + sous-parties).
- Les **titres des paragraphes doivent être informatifs** et si possible reprendre les **mots-clés du sujet**.
- Chaque paragraphe correspond à une **idée-clé**. Votre devoir ne doit pas être théorique, mais il doit de temps en temps faire appel à une observation, un cas concret, une expérience. Vous n'avez pas le temps de tout démontrer mais, comme tout scientifique, vous **devez argumenter** votre problématique.
- Citez des **exemples précis**, avec le nom de la molécule, de la cellule et de l'organisme, son rôle, et le lien avec le sujet.
- Ce paragraphe doit être **hiérarchisé** ; on va du plus grand au plus petit, du plus évident au moins évident.
- Relisez attentivement votre énoncé à mi-parcours afin d'**éviter tout risque de hors-sujet**.
- Un **bilan partiel et une transition** à la fin de chaque grande partie, reprenant les mots-clés du sujet et rappelant le fil conducteur, sont attendus.
- Privilégiez les phrases courtes, en étant vigilant sur la qualité de votre expression française, évitez les termes trop communs et le style télégraphique.

### **Illustrations**

- Au moins une illustration par paragraphe si possible, et de taille raisonnable ;
- Associez chaque illustration des **légendes fonctionnelles avec des mots-clés, un titre bien choisi** et une **phrase bilan** ;
- Réalisez chaque illustration avec des **stylos de couleur à pointe fine aux couleurs bien visibles** ne traversant pas le papier ;
- Utilisez des **couleurs logiquement choisies** (chloroplaste en vert par exemple).

### **Conclusion (une demi-page environ)**

- Récapitulez les **idées fortes du sujet** et présentez une **ouverture** vers une problématique proche, une application médicale ou agronomique etc.

## 4 Réussir l'épreuve d'étude de documents en biologie-géologie

L'épreuve d'une durée totale de **3h30** comporte deux parties indépendantes : l'une portant sur les sciences de la vie et l'autre sur les sciences de la Terre ; les biogéosciences pouvant intervenir aussi bien dans l'une que l'autre. Pour chaque partie, les documents à étudier sont divers (courbes, tableaux, résultats d'analyse, images, cartes, etc.) et sont associés dans un thème (exemple « le calcium »).

### Organisez-vous

- Prenez le temps d'une première lecture rapide de l'**ensemble du sujet** (5 minutes).
- Préparez **au brouillon** l'analyse des documents (15 minutes pour chaque partie).
- Si une **production particulière** est demandée : coupe géologique ou schéma bilan, limitez le temps de préparation au brouillon afin de garder suffisamment de temps pour la rédaction.

### Développement

- **Prenez les documents dans l'ordre** : cet ordre de succession répond à une logique.
- Cherchez à **établir des liens** entre les questions, les documents successifs : une hypothèse formulée lors de l'interprétation d'un document peut être validée, invalidée, complétée par le document suivant.
- Abordez **tous les documents**, car la grille de correction les prend tous en compte.
- Faites des **bilans intermédiaires** de ce que vous avez compris.
- Pour chaque document :
  - commencez par un **bref commentaire** de la technique utilisée ;
  - décrivez les **résultats** en étant **précis** et en utilisant un **langage mathématique adéquat** (courbe hyperbolique, exponentielle, etc. et pas de « la courbe monte ou descend ») ;
  - proposez des **interprétations** : c'est là que la majorité des points est distribuée ;
  - raisonnez en comparant deux à deux des situations différant par un seul facteur ;
  - prenez bien en compte les conditions expérimentales, les témoins ;
  - formulez des hypothèses simples et plausibles ;
  - concluez en dégagant l'essentiel.

### Conclusion

En général, un **bilan** est demandé **à la fin de chaque partie**, parfois sous forme d'un schéma de synthèse (lisez bien l'énoncé qui vous le précise).

## 5 S'organiser pour le TIPE

Le TIPE (**T**ravail d'**I**nitiative **P**ersonnelle **E**ncadré) est un projet réalisé pendant toute l'année scolaire, par groupe de travail, constitué idéalement de 3 à 4 élèves. Le TIPE que vous réalisez en BCPST 2 est **évalué à l'oral** des différents concours.

Le sujet de TIPE de BCPST 2 **s'inscrit dans un thème imposé, qui change chaque année** (parution au Bulletin Officiel. Il s'agit de :

- se poser une question, un problème scientifique (à dominante biologique ou géologique) ;
- mettre en œuvre une production personnelle/une expérimentation permettant de répondre au problème posé ;

- analyser les résultats obtenus, les critiquer, les mettre en perspective ;
- rédiger un rapport écrit de 8 pages maximum (hors bibliographie) présentant le projet ;
- défendre son travail lors d'une soutenance orale.

La réussite d'un TIPE dépend fortement du choix d'un sujet « **réaliste** », c'est-à-dire où vous avez la possibilité de faire facilement des expériences ni trop simplistes, ni trop complexes avec le matériel dont vous disposez au lycée.

Les **jurys valorisent la construction** d'un montage ingénieux, bien bricolé. Aux concours, vous êtes avant tout jugés sur la **qualité de vos expériences** (rigueur, pertinence, jugement critique etc.). Cette épreuve ne doit pas être négligée, même si vous vous sentez submergé par le travail en début de spé. De plus, le projet doit être anticipé et commencé si possible en fin de sup, car le temps d'expérimentation est très court.

Attention à votre **matériel biologique d'expérimentation** ; votre choix doit répondre à des critères bien établis, d'ordre éthique, sanitaire et même légal.

Ne sous-estimez pas la **mise en forme des résultats**. Celle-ci doit se calquer sur celle d'une thèse, elle doit présenter des valeurs chiffrées, avec un nombre de chiffres significatifs cohérent et un traitement statistique.

Entraînez-vous à la **préparation de la présentation orale**, qui est un exercice différent de la colle. Soyez vigilant aux quelques différences de modalité de cette épreuve dans les différents concours, d'autant que cette épreuve est toujours associée à un fort coefficient (voir Section 6. *Présentation des concours*). Chronométrez-vous afin de ne pas dépasser le temps imparti (5 minutes aux concours AgroVéto comme à G2E).

La présentation orale de votre rapport de TIPE se poursuit, aux **concours G2E et AgroVéto**, par un **entretien** qui porte dans un premier temps exclusivement sur votre TIPE, y compris votre exposé. Dans un second temps l'entretien devient plus général, il s'éloigne de votre TIPE et s'intéresse à votre **personnalité, vos motivations, centres d'intérêts et/ou projet professionnel**. Comme la présentation orale, entraînez vous à cet entretien. Pour cela, vous pouvez vous aider de la partie « **TIPE : Un enjeu, une école, un métier** », que vous trouverez à chaque fin de chapitre de cet ouvrage.

## 6 Présentation des concours

### Concours Commun AgroVéto

Ce concours comprend : le concours commun d'admission « **A** » **BIO** (Agro), le concours commun d'admission « **A** » **ENV** (Véto), le concours commun d'admission « **A** » **PC BIO**, le concours commun d'admission **POLYTECH** « **A** » **BIO** et le concours d'entrée à l'**ENSTIB**. Les écrits sont également ceux de l'**École polytechnique** - « l'**X** » - (l'oral étant organisé par l'école elle-même).

Les épreuves concernant les SVT sont :

#### • À l'écrit (admissibilité) :

- une épreuve de **3h de sujet de synthèse** ;
- une épreuve de **3h30 sur support de documents** ; elle comporte une partie de biologie et une partie de géologie indépendantes, les biogéosciences pouvant être abordées dans l'une et/ou l'autre des parties.

• **À l'oral (admission) :**

- une épreuve orale de biologie : **30 minutes de préparation** au début desquelles le jury vous donne le choix entre deux exposés oraux, chacun accompagné d'un document à inclure dans la présentation) et d'un ensemble documentaire contenu dans une page (portant sur le même thème que les exposés oraux), puis **30 minutes de passage : 8 minutes maximum** où vous exposez l'essentiel sur le sujet préparé au tableau en y incluant le document fourni par le jury, suivies de **7 minutes maximum** de questions en lien avec cet exposé ; et **15 minutes maximum** d'entretien avec le jury sur l'ensemble documentaire en lien avec le sujet de synthèse ;
- une épreuve de **Travaux Pratiques** de **1h30** comportant deux parties. Une partie de 30 minutes, notée sur 7 points, portant sur un questionnement biologique que vous aurez à résoudre avec le matériel mis à votre disposition. Une partie d'1 heure, notée sur 13 points, proposant une déclinaison d'activités permettant d'évaluer différentes capacités expérimentales et dans laquelle vous serez davantage guidé par exemple par des questions précises ;
- une épreuve d'**Entretien professionnel et scientifique reposant sur les TIPE** de **30 minutes** comportant 2 parties :
  - **1<sup>re</sup> partie** notée sur 15 points (**20 min**) : portant sur votre **TIPE** ; 5 minutes où vous exposez votre travail avec un support au choix (diaporama, panneau ou poster de présentation) et 15 minutes de questions ;
  - **2<sup>de</sup> partie** notée sur 5 points (**10 min**) : l'**entretien professionnel** débute par votre présentation en 3 minutes de votre projet professionnel, puis il se poursuit par une discussion de 7 minutes avec le jury permettant d'approfondir votre réflexions d'orientation et votre perception de votre éventuel futur métier et de ses enjeux.

## Concours Géologie, Eau, Environnement (G2E)

Les épreuves concernant les SVT sont :

• **À l'écrit (admissibilité) :**

- une épreuve de **3h de biologie** de deux parties indépendantes (durée conseillée 1h30 par partie) ; chaque partie comportant quelques questions de cours et des analyses de documents ;
- une **épreuve de 3h de géologie** comportant quelques questions de cours et des analyses de documents.

• **À l'oral (admission) :**

- une épreuve de **géologie pratique, 20 minutes de préparation et 20 minutes de passage**, portant soit sur une discussion autour de plusieurs roches, soit sur une analyse de carte géologique, soit associant les deux. Pour les roches, vous devez apporter votre propre « échelle de dureté » : lame de verre et pointe d'acier. Un flacon d'HCl dilué est fourni. Les roches ou structures géologiques peuvent aussi vous être données sous forme de photographies ;
- une épreuve de **TIPE** de **20 minutes : 5 minutes de présentation de votre travail** en utilisant un support au choix (diaporama, panneau ou poster de présentation), puis **5 minutes de questions sur votre travail**, et enfin **10 minutes de « discussion** sur des thèmes généraux choisis par le jury de façon à faire ressortir la personnalité du candidat, sa capacité à développer les compétences attendues d'un futur ingénieur, ainsi que sa perception des métiers auxquels les Écoles préparent » (notice 2022).

## Concours Écoles Normales Supérieures de Ulm, Lyon, Paris-Saclay (ex-Cachan) et École Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC)

Les épreuves concernant les SVT sont :

### • À l'écrit (admissibilité) :

- une épreuve de **6h de biologie** comportant une courte synthèse (durée conseillée 1h30) et deux parties sur documents indépendantes (durée conseillée 2h15 par partie) ;
- une épreuve de **4h de géologie** avec à la fois des questions de cours et des questions portant sur des documents ; cette épreuve fait souvent appel à vos connaissances de physique-chimie ;

### • À l'oral (admission) :

Pour Ulm et Lyon, vous choisissez une épreuve « majeure » qui est soit la biologie, soit la géologie.

- une **épreuve orale de biologie** (durée 1h, ne compte pas pour l'ENPC) : chacune des ENS organise son propre oral de biologie mais tous les oraux comportent une phase de préparation, une phase de « synthèse courte » au tableau et une phase d'entretien avec le jury, éventuellement sur des documents ;
- une **épreuve orale de géologie** (durée 45 minutes, pour Ulm et Lyon seulement) comportant une phase de préparation, une phase de « synthèse courte » au tableau et une phase d'analyse de documents (cartes, roches etc.) ;
- une **épreuve de Travaux Pratiques** : 2h de TP de chimie + 2h de TP de biologie (le choix de la première épreuve est tiré au sort) ; les sujets de biologie comportent une partie biologie moléculaire et une partie biologie des organismes ; vous devez apporter votre blouse et votre matériel de dissection ;
- une **épreuve de TIPE** (ne compte pas pour l'ENPC) : un entretien de 30 minutes avec le jury qui pose directement des questions.

## Concours de l'École polytechnique (X)

L'École polytechnique offre 13 places (en 2022) aux étudiant(e)s issu(e)s des classes de BCPST. Les **épreuves d'admissibilités sont les écrits du concours AgroVéto avec des coefficients différents mais les oraux sont spécifiques** (avec comme spécificité une épreuve sportive et un oral de Français).

Épreuves orales d'admission à l'École polytechnique		
Mathématiques	20	50 min
Analyses de documents scientifiques (mathématiques)	14	40 min
Physique	14	50 min
Français	8	30 min
Langue vivante	8	30 min
Éducation physique et sportive	4	
Total	68	
Total général	100	

Une visite médicale d'admission concerne tous les candidats admissibles au concours X BIO. Elle est obligatoire et a lieu à l'École polytechnique, sous la responsabilité du médecin-chef de l'École durant la semaine des oraux. Vous pouvez trouver l'ensemble des écoles recrutant après ces concours dans la section 7. Les écoles accessibles après une BCPST et dans la partie « TIPE: Un enjeu, une école, un métier », à chaque fin de chapitre de cet ouvrage.

## 7 Les écoles accessibles après une BCPST

Retrouver ci-dessous, un tableau qui vous propose la liste de l'ensemble des écoles accessibles à l'issu de vos deux années de BCPST par les concours « **AgroVéto** », **G2E** ou **ENS**. Vous pouvez retrouver la majorité d'entre elles dans la partie « **TIPE : Un enjeu, une école, un métier** » à la fin de la partie cours de chaque chapitre.

ÉCOLES	CHAPITRES	
	Tout-en-un BCPST 1	Tout-en-un BCPST 2
<b>Concours AGRO « A BIO »</b>		
<b>INSTITUT AGRO - AGROCAMPUS OUEST</b> (cursus ingénieur agronome) – <b>Site de Rennes</b>	<b>2</b>	<b>12 (5, 6)</b>
<b>INSTITUT AGRO - AGROCAMPUS OUEST</b> (cursus ingénieur en horticulture et en paysage) – <b>Site d'Angers</b>	<b>2 (15, 16)</b>	<b>3</b>
<b>AGROPARISTECH</b>	<b>6 (8, 14, 20)</b>	<b>6 (5, 11, 12)</b>
<b>AGROSUP Dijon</b>	<b>11 (4, 13, 16)</b>	<b>13 (1)</b>
<b>BORDEAUX SCIENCES AGRO</b>	<b>13</b>	<b>1</b>
<b>ENSAIA</b> : École nationale supérieure d'agronomie et des industries alimentaires de <b>Nancy</b>	<b>2 (4, 8, 10, 13, 15)</b>	<b>13 (1, 9)</b>
<b>ENSAT</b> : École nationale supérieure agronomique de <b>Toulouse</b>	<b>16 (4, 15)</b>	<b>5 (1, 9, 13)</b>
<b>ENSTIB</b> – École nationale supérieure des technologies et industries du bois <b>d'Épinal</b>	<b>8</b>	<b>11</b>
<b>INSTITUT AGRO - Montpellier SupAgro</b>	<b>5 (8, 13, 14)</b>	<b>4 (11)</b>
<b>ONIRIS Nantes Atlantique</b> (cursus ingénieur filières alimentation-agroalimentaire, biotechnologies de la santé)	<b>4 (11)</b>	<b>9 (1)</b>
<b>VETAGRO SUP Clermont-Ferrand</b> (cursus ingénieur)	<b>14 (4)</b>	<b>9 (6, 12)</b>
<b>CENTRALESUPÉLEC – Campus Metz</b>	<b>17</b>	<b>////</b>
<b>Concours VETO « A ENV »</b>		
<b>ENV Alfort</b>	<b>1</b>	<b>7 (5)</b>
<b>ENV Toulouse</b>	<b>1</b>	<b>7 (5)</b>
<b>ONIRIS Nantes Atlantique</b> (cursus vétérinaire)	<b>1</b>	<b>7 (5)</b>
<b>VETAGRO SUP Lyon</b> (cursus vétérinaire)	<b>1</b>	<b>7 (5)</b>
<b>Concours AGRO « A PC BIO »</b>		
<b>Bordeaux INP – ENSCPB</b> (agroalimentaire génie biologique)	<b>10</b>	<b>////</b>
<b>ENSC Lille</b>	<b>10 (17)</b>	<b>////</b>
<b>ENSC Montpellier</b>	<b>10 (17)</b>	<b>////</b>
<b>Lorraine INP - ENSIC</b>	<b>10 (2)</b>	<b>////</b>
<b>Chimie ParisTech</b>	<b>10 (17)</b>	<b>////</b>
<b>ESPCI – ParisTech</b>	<b>10 (9, 17)</b>	<b>////</b>
<b>Grenoble INP – Phelma</b> (physique matériaux procédés)	<b>7</b>	<b>8</b>

ÉCOLES	CHAPITRES	
	Tout-en-un BCPST 1	Tout-en-un BCPST 2
<b>Concours AGRO « X BIO »</b>		
ÉCOLE POLYTECHNIQUE : « L'X » (Palaiseau)	(6, 17, 20)	////
<b>Concours POLYTECH « A BIO »</b>		
POLYTECH Angers (Génie Biologique et santé)	(12)	(8)
POLYTECH Annecy-Chambéry (Écologie industrielle et territoriale)	////	////
POLYTECH Clermont-Ferrand (Génie biologique)	////	(8)
POLYTECH Grenoble (Technologies de l'information pour la santé)	(7)	////
POLYTECH Lille (Génie biologique et alimentaire)	(4, 11)	(1, 9)
POLYTECH Marseille (Génie biomédical et Génie biologique, biotechnologie)	(7, 12)	(1, 8)
POLYTECH Montpellier (Génie biologique et agroalimentaire et Sciences et technologies de l'eau)	(4, 11, 18)	(9, 18)
POLYTECH Nantes (Génie des procédés et bioprocédés)	////	////
POLYTECH Nice-Sophia (Génie biologique)	////	////
POLYTECH Nice-Sophia (Génie de l'eau)	(18)	(18)
POLYTECH Orléans (Génie civil et Géo environnement)	(16, 19, 21)	(13)
POLYTECH Orléans (Génie industriel)	(4, 11)	////
POLYTECH Sorbonne (Agroalimentaire)	////	(1, 9)
ESBS Strasbourg (Biotechnologie et <i>Chembiotech</i> )	7	8
ESIAB Brest (Microbiologie et qualité / Agroalimentaire)	(4, 11)	(1, 9)
ESIR Rennes (Ingénierie biomédicale)	(7)	(8)
ESIROI Saint-Denis de La Réunion	(4, 11)	(1, 9)
ESIX Normandie-Caen Agroalimentaire	(4, 11)	(1, 9)
ENSTBB Bordeaux	(7)	////
EPISEN Créteil (Génie Biomédical et Santé-ISBS)	(7)	(8)
ISIFC Besançon (Génie biomédical)	7	8
<b>Concours G2E</b>		
E.I.L.C.O École d'Ingénieurs du Littoral Côte d'Opale (Dunkerque) (Génie Énergétique et Environnement)	19	(18)
E.N.G.E.E.S. École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg	3 (19, 20)	18
E.N.S.E.G.I.D École Nationale Supérieure en Environnement, Géoressources et Ingénierie du Développement durable (Bordeaux)	19 (20)	18
E.N.S.G. École Nationale Supérieure de Géologie (Nancy)	20 (23)	15 (16)
E.N.S.G. École Nationale des Sciences Géographiques – Géomatique (Marne-la-Vallée)	15 (20)	////

ÉCOLES	CHAPITRES	
	Tout-en-un BCPST 1	Tout-en-un BCPST 2
<b>E.N.S.I.L.</b> École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de <b>Limoges</b> (Eau et Environnement)	<b>18 (19)</b>	<b>(18)</b>
<b>E.N.M</b> École Nationale de Météorologie ( <b>Toulouse</b> )	////	<b>14</b>
<b>E.N.S.I.P.</b> École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de <b>Poitiers</b> (Eau et Génie Civil)	<b>22</b>	<b>16 (18)</b>
<b>E.N.T.P.E.</b> École Nationale des Travaux Publics de l'État ( <b>Vaulx-en-Velin</b> )	<b>21 (15)</b>	<b>16</b>
<b>E.O.S.T.</b> École et Observatoire des Sciences de la Terre ( <b>Strasbourg</b> )	<b>21 (20, 23)</b>	<b>17 (15)</b>
<b>E.S.G.T.</b> École Supérieure des Géomètres et Topographes ( <b>Le Mans</b> )	<b>22 (15)</b>	////
<b>IMT Mines (Albi, Alès et Lille Douai)</b>	<b>9</b>	<b>(14)</b>
<b>Concours ENS-ENPC</b>		
<b>ENS Lyon</b> (Biologie / Sciences de la Terre)	<b>12 (6)</b>	<b>2 (15, 17)</b>
<b>ENS Paris Saclay</b> (Biologie)	<b>23 (6)</b>	<b>2</b>
<b>ENS Lyon Ulm</b> (Biologie / Sciences de la Terre) à <b>Paris</b>	<b>23 (6, 12)</b>	<b>10 (15, 17)</b>
<b>ENPC</b> (Pont et chaussées)	////	////

## 8 Les dates à retenir pendant l'année de BCPST 2

Chaque année, les **épreuves écrites ont lieu de la fin avril à la mi-mai** : le concours AgroVéto a lieu la 1<sup>re</sup> semaine, suivi du concours ENS la 2<sup>e</sup> semaine, puis du concours G2E la 3<sup>e</sup> semaine. Vous pouvez au choix passer un, deux ou trois concours. Les **épreuves orales ont lieu de mi-juin à mi-juillet**, pour les trois concours.

Pour le concours AgroVéto, un « mémo » est disponible en ligne sur le site du SCAV (Service des Concours Agronomiques et Vétérinaires, <https://www.concours-agro-veto.net/>), qui récapitule les dates à retenir pour l'année en cours. Le même type de document est fourni par le concours G2E : <http://g2e.ensg.univ-lorraine.fr/> et par le concours des ENS : <http://www.ens.fr/>.

- De **mi-décembre à début janvier** environ : **inscription** aux concours sur le site du Service de Concours Écoles d'Ingénieurs (SCEI) <http://www.scei-concours.fr>
- Paiement des **frais d'inscription** et dépôt des copies numériques des **justificatifs** demandés sur le site du SCEI jusqu'à la mi-janvier environ.
- Si vous effectuez une **demande d'aménagement d'épreuves**, vous devez constituer un dossier. Une note explicative est disponible en permanence sur le site [www.scei-concours.fr](http://www.scei-concours.fr), à l'onglet « Inscription » puis « Aménagements ».
- Début février à mi-juillet : dépôt de votre **liste de vœux** pour les écoles sur le site du SCEI.
- La **convocation pour les épreuves écrites** est à **télécharger** sur le site SCEI (ou envoyée par email) à partir de **fin mars**.
- Les **épreuves écrites** ont lieu **fin avril à mi-mai**.
- Les **résultats des épreuves écrites** sont donnés de **fin mai à début juin**.

- Toujours **fin mai** et pour le concours AgroVéto uniquement, vous devez **déposer sur le site du SCEI vos dossiers TIPE, et vos fichiers informatiques**. Ces mêmes dossiers sont aussi envoyés par voie postale par votre lycée.
- Pour le **concours AgroVéto**, le **calendrier de passage**, qui tient lieu de **convocation pour les épreuves orales**, est à télécharger sur le site du SCAV **à partir de début juin**.
- Pour le **concours G2E**, les **inscriptions aux épreuves orales** ont lieu durant trois jours **aux alentours du 20 juin**, au lycée Stanislas à Paris. Lors de l'inscription, vous devez **déposer un exemplaire papier du rapport de TIPE** et également, si vous avez choisi l'épreuve d'informatique à l'oral, le script et une brève description de votre projet.
- Pour le **concours des ENS**, vous devez aussi **télécharger votre TIPE** sur le site SCEI.
- Les **épreuves orales** ont lieu de **mi-juin à mi-juillet** environ.
- Les **résultats des épreuves orales** sont donnés **fin juillet**. Selon votre classement, vous aurez accès à telle ou telle école.
- La gestion des intégrations dans les écoles se fait par la **procédure d'appel commun des candidats de la filière BCPST**. Les **propositions d'affectation des écoles** ont lieu de **fin juillet jusqu'à la rentrée de septembre**, en fonction des inscriptions et des désistements. Attention, à chaque « appel » des écoles, vous n'avez que 48h pour donner votre réponse.

## 9 S'organiser pour les révisions pendant les grandes vacances BCPST 1-BCPST 2

- Lorsque vous êtes en **fin de BCPST 1**, les cours se terminent avant la fin des oraux de concours : profitez-en, si cela est possible, pour **assister à quelques oraux de concours**, cela vous aidera à cibler le niveau attendu au concours et à relativiser (vous avez déjà acquis énormément de connaissances !)
- La fatigue s'étant accumulée au cours de l'année de BCPST 1, il est indispensable de mettre à profit le mois de juillet pour vous reposer, faire du sport, voir des amis, partir en vacances... N'essayez pas de travailler, ce serait improductif.
- Prévoyez environ **deux semaines, au mois d'août**, pour **effectuer quelques révisions, dans toutes les matières** (mathématiques, physique-chimie, SVT et matières littéraires) : **1h30 par matière**, soit 6h par jour, entrecoupées de pauses.
- Prévoyez à l'avance votre **planning de révisions**, comme vous devrez le faire pour préparer vos écrits de concours, et respectez-le soigneusement.
- Commencez votre créneau de révisions en **écrivant, sur une feuille blanche**, vos souvenirs concernant les **points clés du/des chapitre(s) concerné(s)**. Comparez ensuite votre feuille à vos cours. Les points que vous avez omis sont ceux qui sont à réviser en priorité.

## 10 S'organiser pour les révisions avant les concours

### Révisions pour les écrits

#### • Organisez vos révisions à l'avance :

- trieux vos cours, de préférence en suivant l'ordre du bulletin officiel et en rassemblant les cours et les TP qui vont avec ; écrivez les titres en gros sur la tranche de chaque classeur ;
- prévoyez un planning précis et complet, sur deux semaines et demie, en accordant le même temps de révisions aux mathématiques, physique-chimie, matières littéraires et SVT ; chaque plage de révision dure 2h environ ;

– ce planning doit ménager des pauses : pas plus de 9h par jour de révisions, au moins 15 minutes de pause entre deux matières, 30 minutes de sport ou de promenade ; ne vous privez surtout pas de sommeil car on fixe les souvenirs durant la nuit.

• **Respectez très strictement votre planning :**

– ne vous autorisez pas à traîner sur un chapitre, ne dépassez pas vos créneaux de 2h ;  
– révisez intelligemment : avant de commencer, relisez des sujets de concours pour savoir comment il faudra restituer ces informations. Quand vous apprenez, réfléchissez en même temps : essayez de voir où, quand, comment utiliser la notion que vous êtes en train d'étudier, quel lien avec un autre cours, quelles sont les applications du cours, quel schéma faire pour illustrer cette idée, quel exemple citer, etc.

• Restez en contact avec vos **camarades de classe**, téléphonez-leur, **ne vous isolez pas**. Vous verrez que vous n'êtes pas le seul à être stressé, cela vous aidera à relativiser.

• La **veille des épreuves écrites**, **ne révisez surtout pas**, allez plutôt vous promener ou voyez des amis.

• Une fois que les épreuves ont commencé : dès qu'une épreuve est terminée, n'y pensez plus et n'en discutez pas avec vos camarades ou vos enseignants.

## Révisions pour les oraux

Et oui, juste le temps de souffler un peu et c'est reparti, même si vous n'avez pas d'autre concours à passer ! Vous devez (1) préparer tous les oraux blancs, (2) revoir tous les TP, (3) finaliser le rapport de TIPE y compris la page de garde et son résumé, et (4) préparer l'oral de TIPE et l'entretien professionnel.

**(1) Préparez les oraux blancs de toutes les matières :** comme pour les écrits, il faut faire un planning qui inclut : le temps pour améliorer le rapport et préparer l'oral de TIPE, idem pour l'informatique, les oraux de biologie ou de géologie, de physique-chimie, de maths, de langue vivante, de géographie, les TP de biologie et de physique-chimie, et enfin l'entretien professionnel.

**(2) Révisez efficacement les TP :** utilisez chaque séance de TP comme une séance de TP blanc, pour vous tester. Pour avoir une idée de ce qui est demandé, lisez dans le rapport du jury les conseils et la liste des sujets. Il y a 3 types de questions :

- (1) question très proche des TP de l'année,
- (2) une question décalée qui demande de transposer à un autre organisme,
- (3) une question qui demande un choix ou une prise d'initiative.

**(3) Finalisez votre rapport de TIPE :** pensez à faire des dessins des protocoles et des interprétations pour remplacer du texte. Vérifiez la bonne présentation des graphiques (titre, nombre de répétitions, axes, unités, barres d'erreur et autres traitements statistiques), numérotez vos figures et donnez-leur un titre, soignez l'introduction et la conclusion. Votre bibliographie doit servir à éclairer vos choix et interpréter vos résultats (un modèle d'organisation de la bibliographie est donné dans le rapport Agro-véto des années précédentes). Tous les titres du plan doivent exprimer clairement les idées, comme pour les sujets de synthèse. Vous devez interpréter tous les résultats, y compris le fait qu'ils ne soient pas significatifs.

**(4) Préparez votre soutenance de TIPE :**

– votre support peut être un panneau ou un diaporama, sur ordinateur ou sous forme de feuilles dans un classeur. Prévoyez de très grandes figures, avec des axes bien lisibles (le

jury est à 2 m de distance). N'écrivez pas trop de texte. Par exemple, les protocoles doivent être résumés sous forme de dessins. Il peut être utile de réutiliser un schéma tout au long de l'exposé, qui se complète au fur et à mesure de l'exposé pour montrer la progression de la réflexion ;

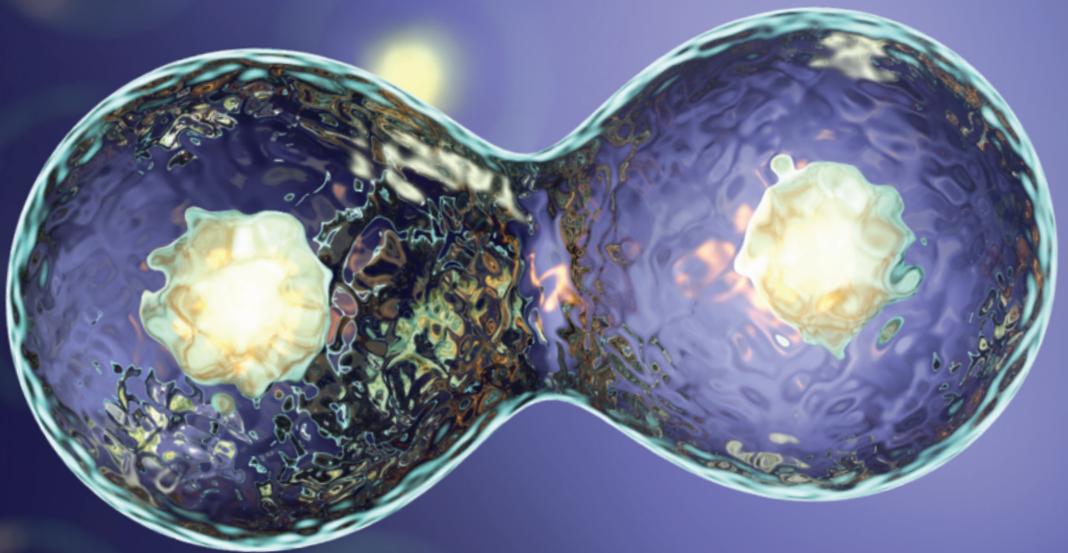
- pour l'oral : chronométrez-vous pour ne pas dépasser le temps imparti, sans parler trop vite. Commencez par justifier l'ancrage de votre sujet dans le thème. Essayez de trouver quelqu'un qui ne connaisse pas le sujet, et voyez s'il comprend. Sinon, simplifiez ! N'oubliez pas qu'un des deux examinateurs n'aura pas lu le rapport ;
- si c'est possible, prévoyez d'apporter des échantillons au jury, cela est très apprécié.
- préparez votre présentation de projet professionnel du concours AgroVéto, qui ne doit pas dépasser le temps imparti de 3 minutes. Cette préparation vous servira également pour la seconde partie de l'entretien du TIPE de G2E.

## Les révisions débutent tout au long de votre année de BCPST 2

- L'année de BCPST 2 doit être mise à profit pour réviser également les chapitres du programme de BCPST 1. N'imaginez pas que vous pourrez réviser la sup exclusivement durant la période précédant les oraux, c'est loin d'être le cas. De plus, de nombreux chapitres de spé demandent de mobiliser des connaissances de sup.
- **Pour chaque chapitre de spé en cours, révisez les chapitres de cours de sup associés (sans oublier les TP ou TD).** Pour vous aider à **regrouper rationnellement les chapitres** de sup et de spé, vous pouvez vous référer au Bulletin Officiel.
- Par exemple, pour la phylogénie, vous devez réviser simultanément les notions de sup « Classer le vivant » et de spé « Analyser des arbres phylogénétiques pour construire des scénarios évolutifs »).
- Ces révisions doivent être **assez courtes** (pas plus d'une heure par chapitre), car vous avez en parallèle tout le programme de spé à assimiler, et ce dans toutes les disciplines.
- Consacrez du temps à réfléchir à votre projet professionnel ; cela renforcera votre motivation et vous permettra de postuler à des écoles en relation avec vos attentes, votre personnalité, vos compétences, et de préparer en amont l'entretien professionnel associé au TIPE des concours AgroVéto et G2E.

**PARTIE 2**

# **BIOLOGIE**



# Plan de la partie

<b>CHAPITRE 1</b> ▶ <b>SV-A-3</b> ▶ Regards sur les organismes unicellulaires	27
<b>CHAPITRE 2</b> ▶ <b>SV-B-3</b> ▶ Le développement post-embryonnaire des Angiospermes : adaptations et plasticité phénotypique	73
<b>CHAPITRE 3</b> ▶ <b>SV-F-4</b> ▶ La diversification des génomes	115
<b>CHAPITRE 4</b> ▶ <b>SV-G-1 et SV-G-2</b> ▶ La reproduction des Embryophytes	153
<b>CHAPITRE 5</b> ▶ <b>SV-G-3</b> ▶ La reproduction sexuée des Mammifères	197
<b>CHAPITRE 6</b> ▶ <b>SV-H-1</b> ▶ Les étapes du développement embryonnaire chez les Vertébrés	243
<b>CHAPITRE 7</b> ▶ <b>SV-H-2 et SV-H-3</b> ▶ Les mécanismes du développement : exemple du développement du membre des Tétrapodes	285
<b>CHAPITRE 8</b> ▶ <b>SV-I-1</b> ▶ Intégration d'une fonction à l'échelle de l'organisme : la circulation sanguine chez les Mammifères	325
<b>CHAPITRE 9</b> ▶ <b>SV-I-2</b> ▶ Communications intercellulaires chez les Métazoaires	383
<b>CHAPITRE 10</b> ▶ <b>SV-K-1 et SV-K-2-2</b> ▶ Les mécanismes de l'évolution et l'analyse des arbres phylogénétiques pour construire des scénarios évolutifs	437



# CHAPITRE 1

## Regards sur les organismes unicellulaires

### Plan du chapitre

<b>Objectifs du programme</b> , p. 28	<input type="checkbox"/>
<b>Fiche remédiation</b> , p. 29	<input type="checkbox"/>
<b>Cours</b> , p. 30	<input type="checkbox"/>
<b>1</b> ▶ Les modes de nutrition des organismes unicellulaires sont très divers, p. 30	<input type="checkbox"/>
<b>2</b> ▶ Les organismes unicellulaires sont en interactions permanentes avec les composantes abiotiques et biotiques des écosystèmes, p. 37	<input type="checkbox"/>
<b>3</b> ▶ Les organismes unicellulaires appartiennent à des groupes très variés de l'arbre du vivant, p. 49	<input type="checkbox"/>
<b>Schéma-bilan</b> , p. 53	<input type="checkbox"/>
<b>TIPE. Un enjeu, un métier, une école</b> , p. 54	<input type="checkbox"/>
<b>Exercices d'application</b> , p. 56	<input type="checkbox"/>
<b>Corrigés détaillés</b> , p. 66	<input type="checkbox"/>

### Problématique

*Comment des organismes constitués d'une cellule unique réalisent-ils l'ensemble des fonctions du vivant ?*

*Quelle(s) place(s) les unicellulaires occupent-ils dans les écosystèmes ?*

*Où retrouve-t-on les organismes unicellulaires dans l'arbre phylogénétique du vivant ?*

#### Les 10 définitions à maîtriser

- Procaryote
- Eucaryote
- Photolithotrophe
- Chimioorganotrophe
- Chimiolithotrophe
- Opéron
- Absorbotrophie
- Phagotrophie
- Groupe paraphylétique
- Réversion



#### FLASHCARDS INTERACTIVES

Réviser les notions et soyez incollables !



[www.lienmini.fr/212983-FLASH-1](http://www.lienmini.fr/212983-FLASH-1)

# Principaux objectifs du programme

## SV-A-3 : Regards sur les organismes unicellulaires

Savoirs visés	Capacités exigibles
<p>Les organismes unicellulaires appartiennent à différentes branches de l'arbre du vivant.</p> <p>Leur organisation (procaryote ou eucaryote) recouvre une grande diversité de morphologies et de cytologies.</p> <p>Les organismes unicellulaires assurent l'ensemble des fonctions (nutrition, relation, reproduction) au niveau d'une seule cellule.</p> <p>Les unicellulaires ont des vies libres ou sont regroupés au sein de biofilms dans lesquels ils sont en interactions.</p> <p>Les organismes unicellulaires sont aussi en interactions interspécifiques avec des organismes pluricellulaires.</p> <p>Les types trophiques (photolithotrophie, chimiolithotrophie, chimioorganotrophie) très divers rencontrés chez les unicellulaires sont essentiels au fonctionnement des écosystèmes en particulier pour l'assimilation et le recyclage de la matière.</p> <p>Les variations du milieu extérieur modifient le fonctionnement cellulaire en particulier l'expression génétique des opérons bactériens (ex. : opéron lactose chez <i>E. coli</i>).</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Illustrer la diversité des modes trophiques : autotrophie, hétérotrophie (associée à de la phagotrophie, de l'absorbotrophie, de l'exodigestion) à l'aide des exemples vus en travaux pratiques.</li><li>- Identifier un type trophique en fonction de l'origine de l'énergie, la nature des donneurs et des accepteurs d'électron.</li><li>- Expliquer comment le double contrôle de l'opéron lactose constitue une réponse physiologique de la bactérie à la disponibilité des ressources du milieu.</li></ul>



### PROGRAMME COMPLET

Téléchargez le programme complet



[www.lienmini.fr/212983-PROG](http://www.lienmini.fr/212983-PROG)

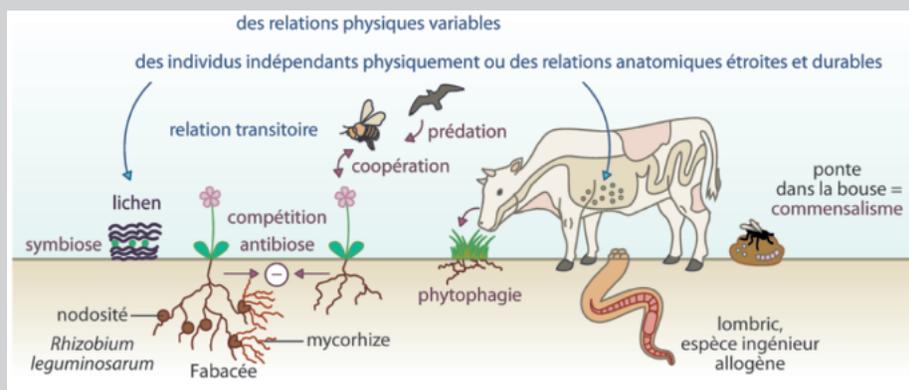
# FICHE REMÉDIATION

Les différentes espèces d'un écosystème ont des relations variées. Elles peuvent être en compétition, une espèce peut en exploiter une autre (prédation, parasitisme, phytophagie), deux espèces peuvent coopérer (mutualisme, symbiose), certaines espèces peuvent établir des relations intermédiaires (commensalisme, amensalisme, neutralisme). La nature des relations peut changer au cours du temps.

Les microorganismes établissent, eux aussi, de nombreuses interactions avec des espèces animales, comme la vache, ou végétales comme les Fabacées :

- des symbioses, comme celle de la vache et son microbiote qui permet la rumination, ou celle des Fabacées avec *Rhizobium* qui permet la fixation du diazote atmosphérique ;
- du parasitisme car certains microorganismes dits pathogènes (virus, Bactéries, eucaryotes unicellulaires ou pluricellulaires) se développent aux dépens de l'hôte et provoquent une maladie, comme la sclérotiniose, une maladie fongique des parties aériennes de certaines Fabacées (soja, haricot).

Partenaire A	Partenaire B	Type d'interaction
+	+	<b>Mutualisme</b> ou <b>symbiose</b> (si les liens sont étroits et se prolongent dans le temps)
+	-	<b>Parasitisme</b> (ou <b>prédation</b> si le « - » représente la mort d'un partenaire ou <b>phytophagie</b> si un organisme « + » mange une plante « - » même en partie)
+	0	<b>Commensalisme</b> (un partenaire tire bénéfice de l'autre sans aucun changement pour celui-ci)
0	-	<b>Amensalisme</b> (un partenaire subit des désavantages de la présence d'un autre organisme sans que celui-ci n'en tire un bénéfice)
0	0	<b>Neutralisme</b>
-	-	<b>Compétition</b> (lutte entre deux organismes pour l'exploitation d'une même ressource)



► Les différentes interactions entre deux organismes vivants.

# COURS

Les organismes unicellulaires sont des **microorganismes constitués d'une seule cellule** qui effectue les trois grandes fonctions du vivant : la **nutrition** (au sens large), la **relation** et la **reproduction**.

## 1 Les modes de nutrition des organismes unicellulaires sont très divers

Les êtres vivants unicellulaires se rencontrent chez les **procaryotes**, comme chez les **Eucaryotes**, ils constituent un groupe très hétérogène au sein du vivant, majoritaire en nombre, et aux modes de nutrition très variés.

### 1.1. Certains unicellulaires sont autotrophes

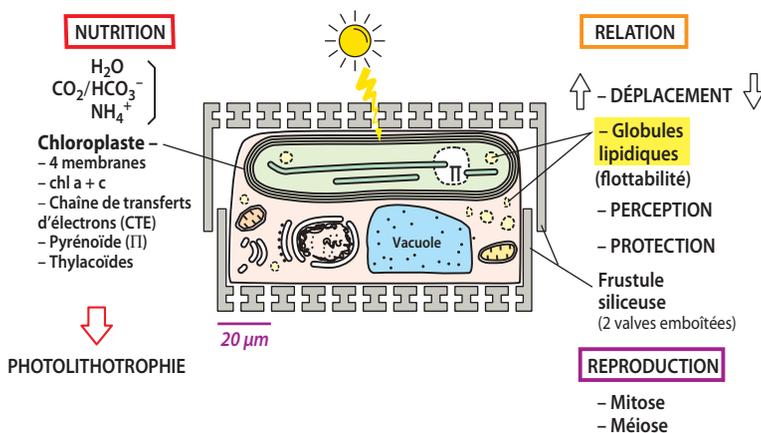
Les unicellulaires **autotrophes**, comme les pluricellulaires autotrophes (voir BCPST 1 - Chapitre 9 - *L'approvisionnement en matière organique*) **produisent leur matière organique à partir de molécules minérales**.

#### 1.1.1. Grâce à la photosynthèse

Comme chez les pluricellulaires photosynthétiques, les unicellulaires photosynthétiques utilisent comme **source d'électrons**, l'eau, et comme **source de matière**, le  $\text{CO}_2$  et/ou les ions  $\text{HCO}_3^-$  et les ions  $\text{NO}_3^-$  ; donc des **sources minérales**. L'énergie est fournie par l'**énergie lumineuse**, captée au niveau de thylacoïdes riches notamment en chlorophylles.

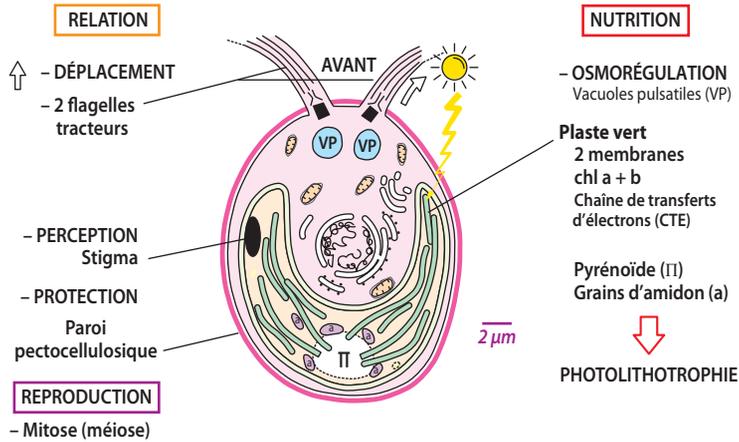
Chez les **diatomées** (unicellulaires photosynthétiques eucaryotes) les photosystèmes captant la lumière renferment notamment des **chlorophylles a et c** présents dans la membrane de thylacoïdes contenus dans un **chloroplaste délimité par 4 membranes**.

Les unicellulaires photosynthétiques, comme les pluricellulaires photosynthétiques, sont des **organismes photolithotrophes**.



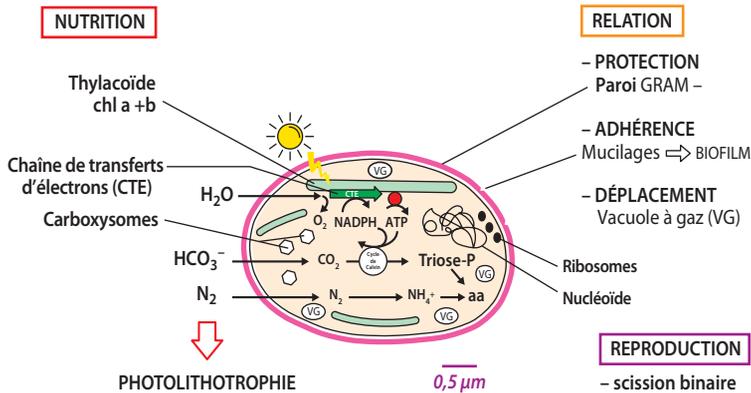
► **Figure 1.1.** La réalisation des trois fonctions du vivant par les diatomées, des unicellulaires eucaryotes photosynthétiques.

Chez *Chlamydomonas* (algue verte unicellulaire - donc eucaryote -) les thylacoïdes sont contenus dans un unique **chloroplaste délimité par 2 membranes** et les photosystèmes renferment notamment des **chlorophylles a et b**.



► **Figure 1.2.** La réalisation des trois fonctions du vivant par *Chlamydomonas*, une algue verte unicellulaire photosynthétique.

Chez les **Cyanobactéries**, des unicellulaires photosynthétiques procaryotes, les photosystèmes sont également insérés dans les **thylacoïdes**, mais ces derniers sont libres dans le cytoplasme et constituent les seuls compartiments. Les thylacoïdes renferment des **chlorophylles a et b**, associées à d'autres pigments, comme la phycocyanine, à l'origine de la couleur bleu-vert caractéristique de ces unicellulaires (en grec, *cyano*, bleu).



► **Figure 1.3.** La réalisation des trois fonctions du vivant par les Cyanobactéries, des bactéries photosynthétiques.

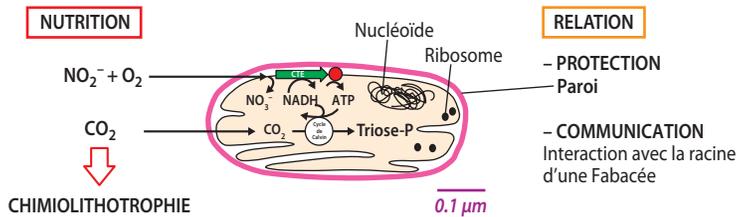
Comme chez les organismes pluricellulaires photolithotrophes, les chaînes photosynthétiques réalisent une conversion photochimique qui fournit l'énergie nécessaire à la fixation et l'assimilation du CO<sub>2</sub> et/ou les ions HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> grâce au **cycle de Calvin**.

### 1.1.2. Grâce à la chimiosynthèse

Certains unicellulaires procaryotes comme la bactérie des **sols** Nitrobacter (voir Chapitre 13 - *Les sols*) oxydent les **nitrites** (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) en **nitrates** (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), c'est la **nitratation** (voir Chapitre 12 - *Le cycle de l'azote*).

Cette oxydation est assurée par la chaîne de transferts d'électrons insérée dans leur **membrane plasmique** par **couplage chimio-osmotique**. Ce dernier crée un gradient de protons qui permet, par couplage osmo-chimique, la synthèse d'ATP et de coenzyme réduits (NADH, H<sup>+</sup>).

Ceux-ci fournissent l'énergie nécessaire à la fixation et l'assimilation du  $\text{CO}_2$  grâce au **cycle de Calvin**. Les ions nitrates, une source minérale, sont à la fois la **source d'électrons et d'énergie**, *Nitrobacter* est un **organisme chimiolithotrophe**.



► **Figure 1.4.** La réalisation des trois fonctions du vivant par *Nitrobacter*, une bactérie chimiolithotrophe des sols.

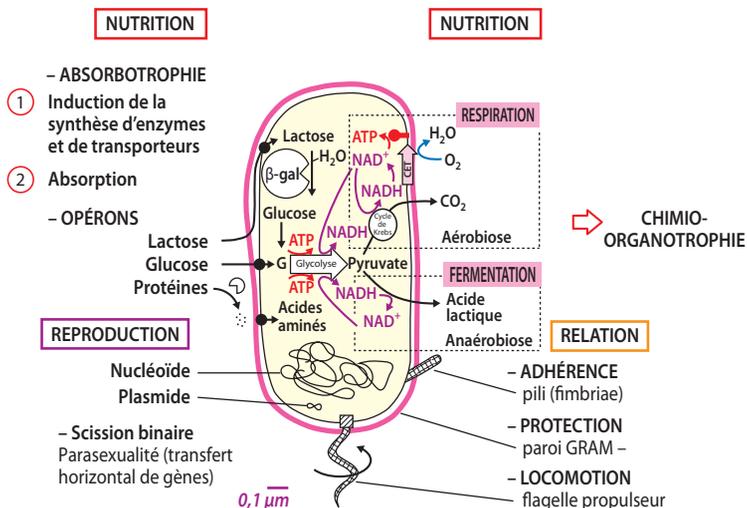
## 1.2. D'autres unicellulaires sont hétérotrophes

Les unicellulaires **hétérotrophes**, comme les pluricellulaires hétérotrophes, **produisent leur matière organique à partir de molécules organiques préexistantes qu'ils prélèvent dans leur milieu de vie** (voir BCPST 1 - Chapitre 9 - *L'approvisionnement en matière organique*). Ils sont aussi **chimioorganotrophes** car cette production tire son **énergie** de la dégradation de **molécules organiques**. Chez les unicellulaires, les modalités de prélèvement de cette matière organique sont de deux types.

### 1.2.1. Certains prélèvent la matière organique du milieu par absorbotrophie

Le prélèvement chez certains unicellulaires hétérotrophes est contraint par la présence d'une membrane plasmique et le plus souvent d'une paroi, qui limitent le passage des grosses molécules organiques présentes dans leur milieu de vie.

C'est le cas des **Bactéries** comme *Escherichia coli* (*E. coli*) et *Rhizobium* dont la paroi est riche en **peptidoglycanes** (Bactéries Gram - ; voir BCPST 1 - Chapitre 6 - *Organisation fonctionnelle de la cellule*). Les **champignons unicellulaires ou levures** sont également entourés d'une paroi, mais riche en **chitine**, comme la **levure de bière** (*Saccharomyces cerevisiae*).

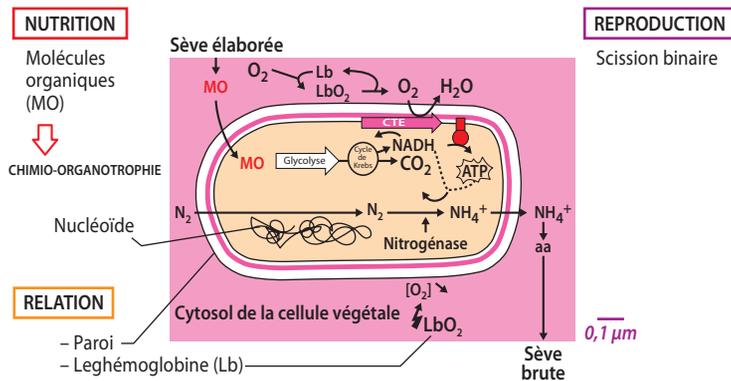


► **Figure 1.5.** La réalisation des trois fonctions du vivant par *Escherichia coli*, une bactérie GRAM - hétérotrophe absorbotrophe.

Ainsi, *E. coli*, la levure de bière et *Rhizobium* absorbent les nutriments présents dans le milieu extérieur à travers leur paroi et membrane : ils se nourrissent par **absorbotrophie**.

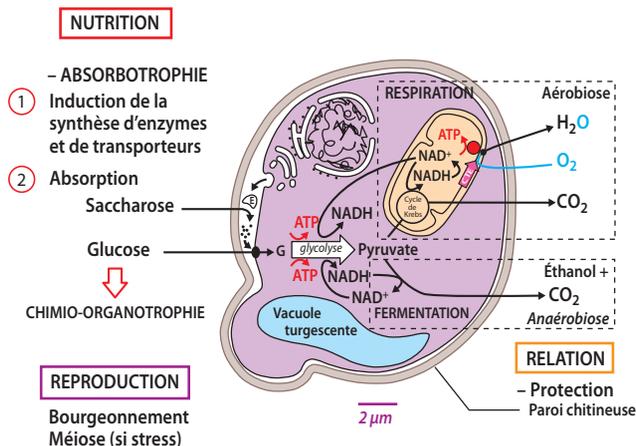
Ce mode de nutrition nécessite l'intervention de transporteurs insérés dans leur membrane plasmique, qui assurent le flux des nutriments selon des gradients osmotiques, c'est l'**osmotrophie** (voir BCPST 1 - Chapitre 7 - *Membrane et échanges membranaires*). Chez *E. coli* et la levure de bière, le milieu de vie ne contient pas toujours des nutriments directement absorbables, ces unicellulaires sécrètent des enzymes qui hydrolysent les macromolécules organiques présentes dans le milieu en nutriments, c'est l'**exodigestion** qui précède l'absorbotrophie.

Cette première étape d'exodigestion n'existe pas chez *Rhizobium*. Dans chaque nodosité, la sève élaborée de la Fabacée apporte des nutriments donc de petites molécules organiques directement absorbables par le bactéroïde (voir BCPST 1 - Chapitre 4 - *La nutrition des Angiospermes en lien avec le milieu*).



► **Figure 1.6.** La réalisation des trois fonctions du vivant par *Rhizobium*, une bactérie GRAM - hétérotrophe absorbotrophe présente dans les nodosités des Fabacées.

Les nutriments ainsi absorbés par ces unicellulaires hétérotrophes absorbotrophes procaryotes (*E. coli* et *Rhizobium*) ou eucaryotes (*Saccharomyces cerevisiae*) permettent la régénération d'ATP nécessaire à tous les travaux cellulaires et aux biosynthèses (anabolisme), par les deux **voies du catabolisme oxydatif : la respiration et/ou les fermentations** (voir BCPST 1 - Chapitre 10 - *Le devenir de la matière organique*).



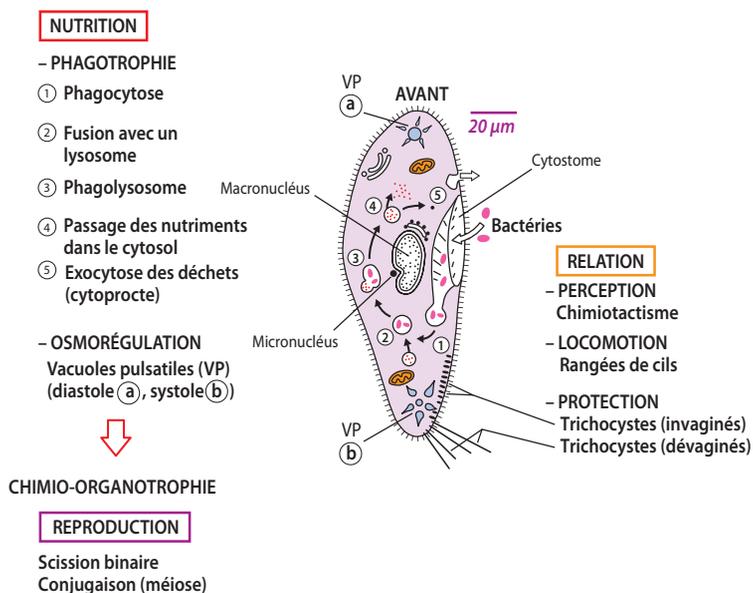
► **Figure 1.7.** La réalisation des trois fonctions du vivant par *Saccharomyces cerevisiae*, un champignon unicellulaire hétérotrophe absorbotrophe.

Leurs principales étapes sont :

- la **glycolyse**, cytoplasmique chez *E. coli* et *Rhizobium* et cytosolique chez *Saccharomyces cerevisiae* ; c'est la seule étape de régénération de l'ATP lors de la fermentation alcoolique chez *Saccharomyces cerevisiae* ou lors de la fermentation lactique chez *E. coli* ;
- le **cycle de Krebs**, cytoplasmique chez *E. coli* et *Rhizobium* mais matriciel chez *Saccharomyces cerevisiae* ;
- le **couplage chimio-osmotique** réalisé par une **chaîne respiratoire** associée à une **ATP synthase**, insérées dans la membrane plasmique chez *E. coli* et *Rhizobium* mais dans la membrane interne mitochondriale chez *Saccharomyces cerevisiae*.

### 1.2.2. Certains prélèvent la matière organique du milieu par phagotrophie

Certains unicellulaires hétérotrophes, comme les **paramécies** phagocytent des débris végétaux ou d'autres microorganismes (ex : bactéries) présents dans leur milieu de vie, les eaux douces. Les **cils vibratiles** du **cytostome** dirigent ces particules et bactéries vers le cytopharynx. Elles sont phagocytées et le phagosome formé fusionne avec des lysosomes en un phagolysosome (vacuole digestive). L'acidité et l'action des hydrolases permettent la digestion des débris et microorganismes ingérés. Les nutriments formés sortent du phagolysosome par des transporteurs et permettent une **respiration mitochondriale**. Les paramécies se nourrissent par **phagotrophie**. Les déchets de l'hydrolyse restant dans les vacuoles digestives sont libérés dans le milieu extérieur par exocytose au niveau du **cytoprocte**.



► **Figure 1.8.** La réalisation des trois fonctions du vivant par les paramécies, des unicellulaires hétérotrophes phagotrophes.

Les paramécies étant dulçaquicoles, elles vivent dans un milieu hypotonique et l'**eau pénètre en permanence dans leur cytosol hypertonique**, car l'eau se déplace dans le sens des potentiels hydriques décroissants (voir BCPST 1 - Chapitre 7 - *Membranes et échanges membranaires*). Cette entrée d'eau n'entraîne pas la lyse des paramécies, car deux organites spécialisés issus du réticulum lisse, les **vacuoles pulsatiles**, l'évacuent. Elles assurent une **osmorégulation** efficace, car elles fonctionnent en opposition de phase, quand l'une est en systole, l'autre est en diastole.

**VIDÉO EXPLICATIVE**

Retrouvez une vidéo montrant la fonction de la vacuole dans une paramécie ici :

[www.lienmini.fr/212983\\_VIDEO\\_1A](http://www.lienmini.fr/212983_VIDEO_1A)

et une autre vidéo montrant comment une parémécie se nourrit ici :

[www.lienmini.fr/212983\\_VIDEO\\_1B](http://www.lienmini.fr/212983_VIDEO_1B)



### 1.2.3. Certains prélèvent la matière organique du milieu par absorbotrophie et par phagotrophie

On observe chez certains unicellulaires hétérotrophes eucaryotes, les deux types de modalités de prélèvement de la matière organique. C'est par exemple le cas de deux unicellulaires **parasites** :

- le **trypanosome** (*Trypanosoma brucei gambiense*), parasite de l'être humain et du bétail en Afrique centrale, responsable de la **maladie du sommeil** ;
- le **Plasmodium falciparum**, parasite de l'être humain responsable du **paludisme** (ou malaria).

Le **trypanosome** puise certains **nutriments (glucose, acides aminés)** par **absorbotrophie** dans le **sang**, la **lymphe** et le **liquide céphalo-rachidien** de son hôte principal, l'être humain, ou dans l'**hémolymphe** de son hôte intermédiaire (ou vecteur), 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 (*Low Density Lipoprotein* voir BCPST 1 - Chapitre 7 - *Membranes et échanges membranaires*).

Le trypanosome possède une **mitochondrie unique** de très grande taille, ramifiée dans tout le cytoplasme, mais dont le volume et l'organisation varient selon les changements métaboliques qui surviennent au cours du cycle parasitaire. En effet, dans la circulation sanguine humaine, le trypanosome produit de l'ATP à partir du glucose mais grâce à une **glycolyse particulière** qui se déroule en partie dans des peroxysomes spécifiques, les glycosomes ; la mitochondrie est alors de petite taille. Dans l'hémolymphe de la glossine, l'ATP est produit par **respiration mitochondriale** d'acides aminés, principalement la proline ; la mitochondrie a alors sa taille maximale.

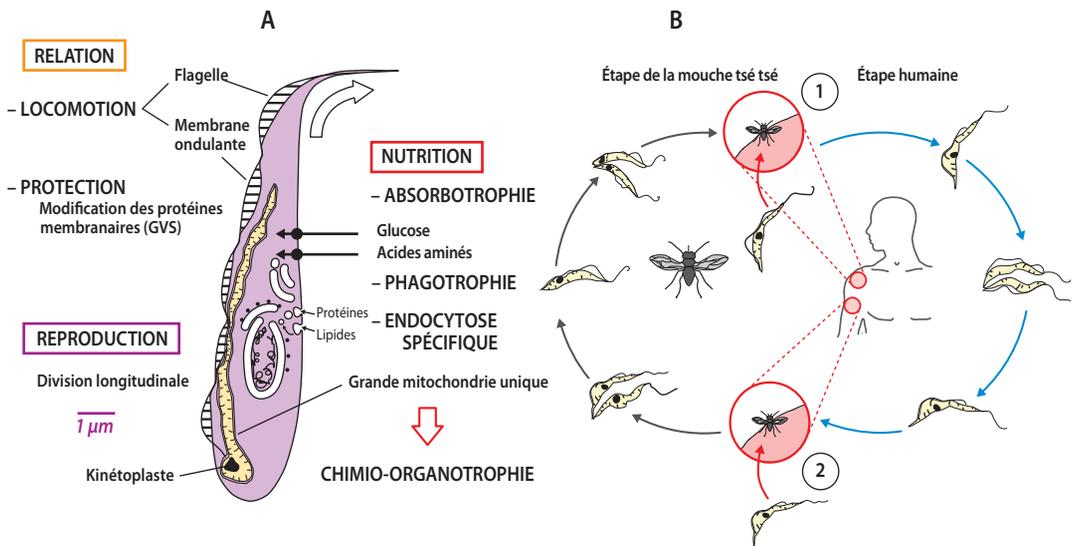
Tout au long du cycle parasitaire, l'ADN mitochondrial du trypanosome forme une structure appelée **kinétoplaste** située à la base du flagelle.

**VIDÉO EXPLICATIVE**

Retrouvez une vidéo montrant sur le trypanosome ici :

[www.lienmini.fr/212983\\_VIDEO\\_1C](http://www.lienmini.fr/212983_VIDEO_1C)



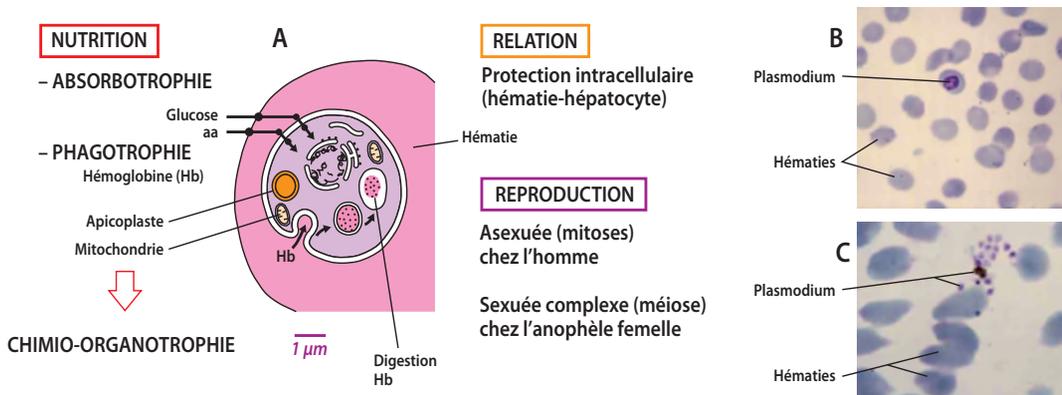


► **Figure 1.9.** La réalisation des trois fonctions du vivant par le trypanosome (*Trypanosoma brucei gambiense*), un unicellaire hétérotrophe responsable du paludisme.

A. L'organisation fonctionnelle du trypanosome.

B. Le cycle parasitaire simplifié du trypanosome (①, ② : repas de sang de la mouche tsé-tsé).

Le *Plasmodium falciparum* puise le **glucose** par **absorbotrophie** dans les **hématies** de son hôte principal, l'être humain, ou dans l'**hémolymphe** de son hôte intermédiaire, un moustique : l'**anophèle femelle**. Chez l'être humain, il récupère également l'**hémoglobine** des hématies par **phagocytose** et d'autres macromolécules. Certains de ces nutriments sont directement utilisés par la **respiration mitochondriale** et d'autres sont transformés en lipides de réserve et membranaires dans un plaste limité par quatre membranes et non photosynthétique : l'**apicoplaste**.



► **Figure 1.10.** La réalisation des trois fonctions du vivant par le *Plasmodium falciparum*, un unicellaire hétérotrophe responsable de la maladie du sommeil.

A. L'organisation fonctionnelle de *Plasmodium falciparum* dans une hématie.

B. L'observation d'un frottis sanguin humain montrant le parasite dans une hématie (MO coloration au Giemsa x 400).

C. L'observation d'un frottis sanguin humain montrant le parasite en phase extracellulaire (MO coloration au Giemsa x 800).



### À retenir

Chez les êtres vivants unicellulaires procaryotes comme eucaryotes, les types trophiques, les modes de nutrition et les métabolismes sont très divers, en lien avec leur milieu de vie.

Certains sont autotrophes :

- photolithotrophes comme les diatomées et *Chlamydomonas* (eucaryotes) ou les Cyanobactéries (procaryotes) ;
- ou chimiolithotrophes comme *Nitrobacter* (procaryotes).

D'autres sont hétérotrophes et chimioorganotrophes, ils se nourrissent :

- par absorbotrophie comme *Escherichia coli* (procaryote), *Rhizobium* (procaryote) et les levures (eucaryotes) ;
- ou par phagotrophie comme les paramécies (eucaryotes) ;
- ou par absorbotrophie et phagotrophie comme le trypanosome et *Plasmodium falciparum* (eucaryotes).

## 2 Les organismes unicellulaires sont en interactions permanentes avec les composantes abiotiques et biotiques des écosystèmes

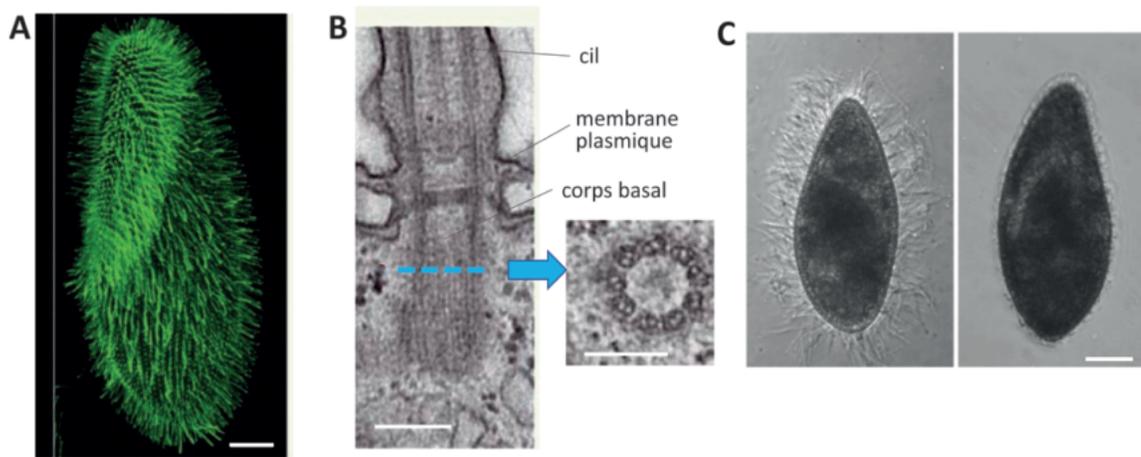
Comme tous les êtres vivants, le fonctionnement et la survie des unicellulaires, autotrophes ou hétérotrophes, dépend de l'**environnement abiotique** (température et/ou lumière, et/ou O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, etc.) et **biotique** (autres organismes vivants de la même espèce ou non).

### 2.1. Les unicellulaires interagissent avec les autres organismes vivants

#### 2.1.1. Les unicellulaires libres sont en compétition avec les autres organismes présents dans leur milieu de vie

Les unicellulaires libres vivent dans un milieu généralement changeant. Les ressources qui leurs sont nécessaires sont donc présentes en quantités variables et elles sont souvent exploitées par d'autres organismes avec lesquels les unicellulaires sont en compétition. Le milieu de vie des unicellulaires libres peut aussi abriter d'autres organismes qui les consomment.

- La **paramécie** se déplace activement dans l'eau douce à la recherche des débris ou des microorganismes dont elle se nourrit. Elle les localise par **chimiotactisme**, tout en évitant les obstacles grâce à des **canaux ioniques mécano-sensibles**. Son déplacement est permis par 4 000 **cils**, disposés en rangées, dont les battements sont coordonnés par le cytosquelette. La paramécie est également capable de se défendre contre les prédateurs, grâce à l'exocytose régulée de vésicules localisées entre les cils ; en effet, leur contenu glycoprotéique ainsi libéré forme un dard effilé et rigide appelé un **trichocyste**. Dans un **environnement favorable**, la paramécie colonise rapidement son milieu par **reproduction asexuée**, chaque unicellulaire donnant deux paramécies filles par **scission transversale** après duplication des organites. Dans un environnement **carencé**, la paramécie peut réaliser une **reproduction sexuée** particulière, la **conjugaison**, au cours de laquelle deux partenaires échangent du matériel génétique haploïde issu d'une méiose, avant de se diviser.



► **Figure 1.11.** Les paramécies sont des unicellulaires actifs dans les eaux douces.

- A. L'organisation de l'appareil ciliaire après immunomarquage par un anticorps anti-tubuline marquant spécifiquement les cils (barre d'échelle : 20  $\mu\text{m}$ ).
- B. L'organisation ultra-structurale d'un cil (barre d'échelle : 200 nm). À gauche en coupe longitudinale et à droite en coupe transversale au MET.
- C. L'observation au MO d'une même paramécie ayant déchargé ses trichocystes (à gauche) et uniquement entourée de ses cils (à droite) (barre d'échelle : 30  $\mu\text{m}$ ).

**Attention !**

La paramécie est un unicellulaire appartenant au groupe des Alvéolobiontes plus précisément, par la présence de nombreux cils, des Ciliés. Si les Ciliés libres sont très nombreux dans les milieux aquatiques et humides, il ne faut pas oublier que certains sont symbiotiques, comme ceux vivant dans le rumen de la vache (voir BCPST 1 - Chapitre 1 - *Regards sur un organisme animal*).

**VIDÉO EXPLICATIVE**

Retrouvez une vidéo montrant la fin de la division d'une paramécie, avec la séparation des deux cellules-filles ici :

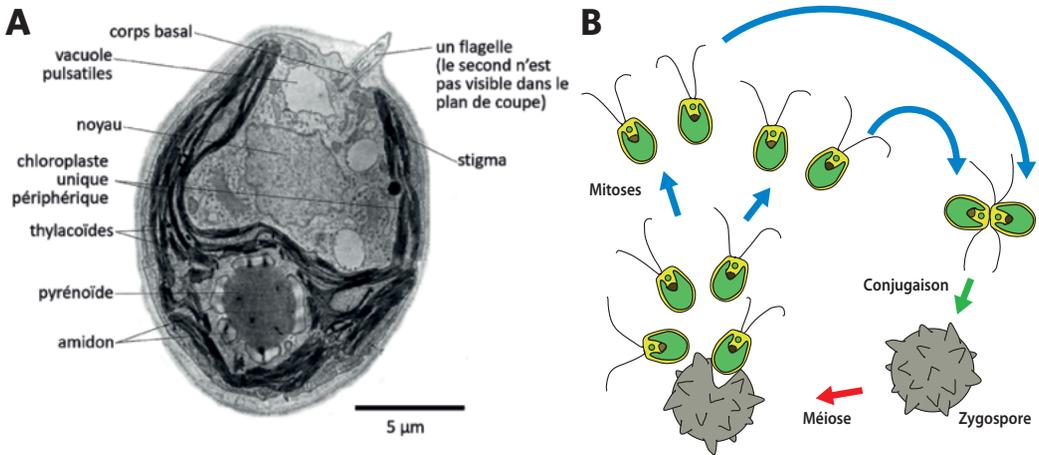
[www.lienmini.fr/212983\\_VIDEO\\_1D](http://www.lienmini.fr/212983_VIDEO_1D)



• L'algue verte unicellulaire *Chlamydomonas* se déplace aussi activement dans l'eau douce car elle est attirée par la lumière. Ce **phototactisme** positif est permis grâce aux battements de deux longs **flagelles tracteurs** et par la présence d'un détecteur de source lumineuse, le **stigma**, localisé dans le chloroplaste. Ce dernier renferme également un **pyrénoïde**, structure riche en amidon, qui permet de concentrer le  $\text{CO}_2$  au voisinage de la RubisCO et de limiter son activité oxygénase (voir BCPST 1 - Chapitre 9 - *L'approvisionnement en matière organique*).

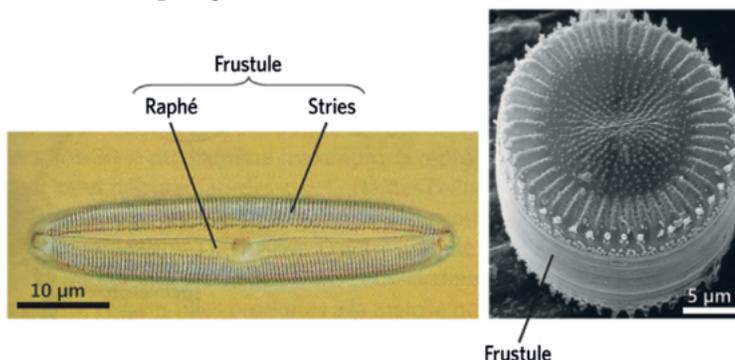
L'algue est protégée par une **paroi pectocellulosique**. Dans un **environnement favorable**, *Chlamydomonas* colonise rapidement son milieu de manière **asexuée** par mitoses haploïdes.

Dans un environnement **carencé**, le plus souvent en azote, des gamètes haploïdes se forment et peuvent fusionner en un **zygote** (diploïde) non flagellé. Ce zygote subit une **méiose** et libère quatre cellules haploïdes flagellées qui reprennent le cycle de reproduction asexuée.

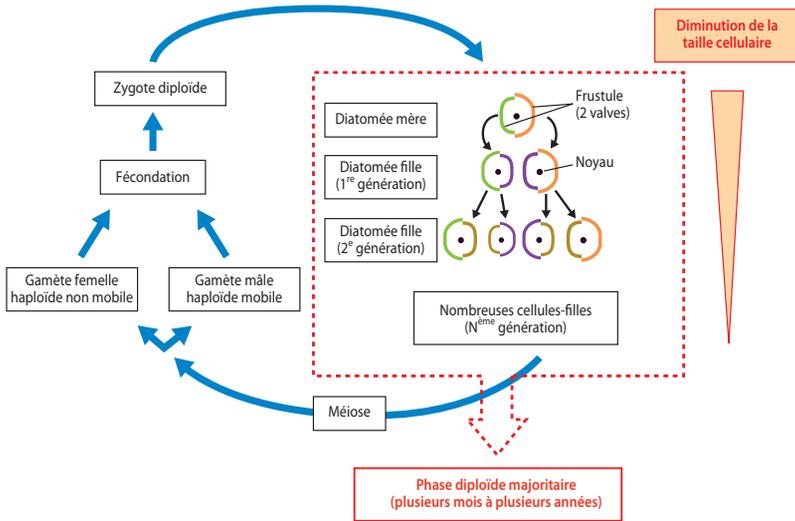


► **Figure 1.12.** *Chlamydomonas* est une algue verte unicellulaire active dans les eaux douces.  
 A. Son organisation ultra-structurale (MET).  
 B. Son cycle de vie simplifié.

• Les **diatomées** se déplacent aussi par **phototactisme** positif. En effet ces algues sont capables de modifier leur flottabilité en faisant varier le volume des globules lipidiques présents dans leur cytosol, qu'elles utilisent également comme réserve énergétique. Elles sont aussi protégées par une **paroi siliceuse** appelée frustule formées de deux valves asymétriques emboîtées. Leur cycle de vie montre une **alternance** entre **reproduction asexuée**, par mitose, et **sexuée** après méiose. Il est **régulé** par les **conditions abiotiques du milieu**, en particulier la température, la lumière et les teneurs en éléments nutritifs, et par la **taille des diatomées**. En effet, à chaque mitose, les deux diatomées filles héritent d'une des deux valves de la diatomée mère. L'autre valve est synthétisée par la diatomée fille mais elle est toujours de taille inférieure à la valve héritée dans laquelle elle s'emboîte. Les mitoses successives entraînent ainsi la diminution progressive de la taille cellulaire des diatomées filles. Une taille minimale seuil spécifique provoque la méiose des diatomées filles qui permet une reproduction sexuée à l'origine de nouvelles diatomées mères de plus grande taille.

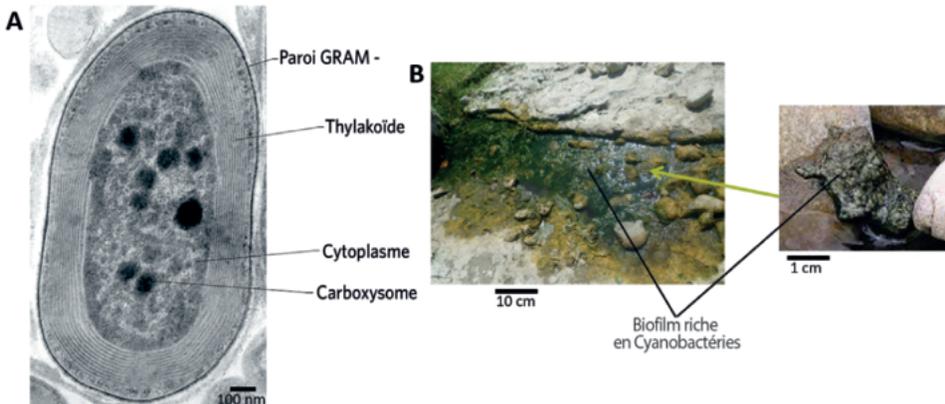


► **Figure 1.13-A.** Les diatomées sont des algues unicellulaires qui flottent à la surface de milieux humides ou aquatiques. L'observation de leurs deux valves imbriquées au MO (à gauche) au MEB (à droite).



► **Figure 1.13-B.** Le cycle de vie simplifié des Diatomées.

• Les **Cyanobactéries** renferment des **vacuoles de gaz** qui leur permettent d'ajuster leur position dans la colonne d'eau en régulant leur flottaison. Ainsi dans la journée elles migrent en surface et captent mieux l'énergie lumineuse, alors que le soir elles ont tendance à migrer en profondeur ce qui leur permet d'exploiter les nutriments qui s'y trouvent souvent en plus grande concentration. Elles contiennent également des **carboxysomes**, structures protéiques polyédriques, qui permettent de concentrer le CO<sub>2</sub> au voisinage de la RubisCO et de limiter son activité oxygénase. Les Cyanobactéries sont entourées par une **paroi de type GRAM-** et d'une couche de **mucilages**. Ces derniers sont des gels de polysides qui se gorgent d'eau et qui permettent aux unicellulaires de mieux résister aux contraintes de leur environnement comme les chocs et la déshydratation. Les mucilages collent les Cyanobactéries entre elles et/ou avec d'autres unicellulaires avec lesquels elles peuvent former des **biofilms**. Les Cyanobactéries ne se multiplient que par **reproduction asexuée** par division transversale (scission) après répllication de l'ADN. Dans des conditions environnementales favorables, le plus souvent après l'enrichissement en nutriments, les Cyanobactéries peuvent connaître des phases de prolifération importante appelées efflorescence ou **bloom**.



► **Figure 1.14.** Les Cyanobactéries sont des Bactéries GRAM - très abondantes dans les milieux humides ou aquatiques et les biofilms. A. Leur organisation ultra-structurale (MET). B. L'observation d'un biofilm riche en Cyanobactéries.



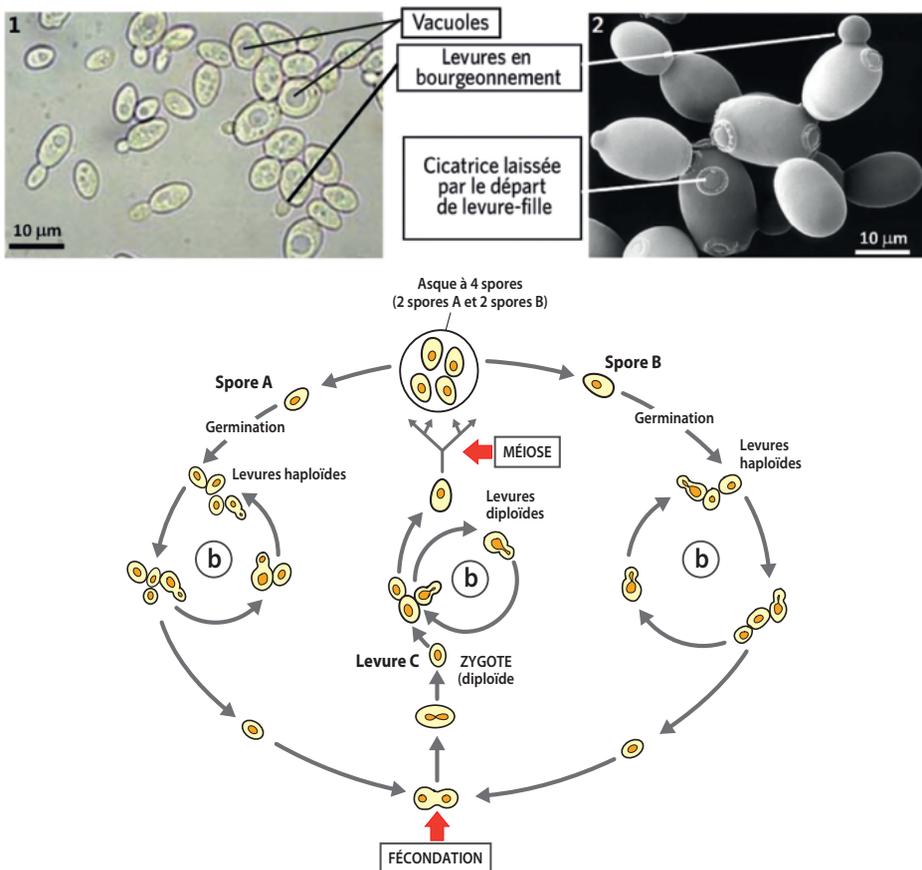
**VIDÉO EXPLICATIVE**

Retrouvez une vidéo montrant une Cyanobactérie présente dans une mare ici :

[www.lienmini.fr/212983\\_VIDEO\\_1E](http://www.lienmini.fr/212983_VIDEO_1E)



• La **levure de boulanger** (*Saccharomyces cerevisiae*) ne se déplace que passivement dans son milieu et elle est protégée par une **paroi riche en chitine**. En **aérobie** son métabolisme est **respiratoire** grâce aux mitochondries qu'elle contient, mais en **anaérobie**, celles-ci régressent et la levure réalise une **fermentation alcoolique** (voir figure 2.6 et BCPST 1 - Chapitre 10 - *Le devenir de la matière organique*). Dans un **environnement favorable**, la levure colonise rapidement son milieu de manière **asexuée** par **bourgeoisement haploïde**. Dans un environnement **carencé** en nutriments (milieu bien aéré, pauvre en azote et contenant une source de carbone non fermentescible), la levure réalise une **reproduction sexuée** qui forme un zygote diploïde. Ce dernier peut également se multiplier de manière **asexuée** par **bourgeoisement diploïde**, avant de subir une **méiose** donnant quatre spores haploïdes à l'origine de nouvelles levures. Les cellules observées en conditions favorables sont donc des unicellulaires haploïdes.



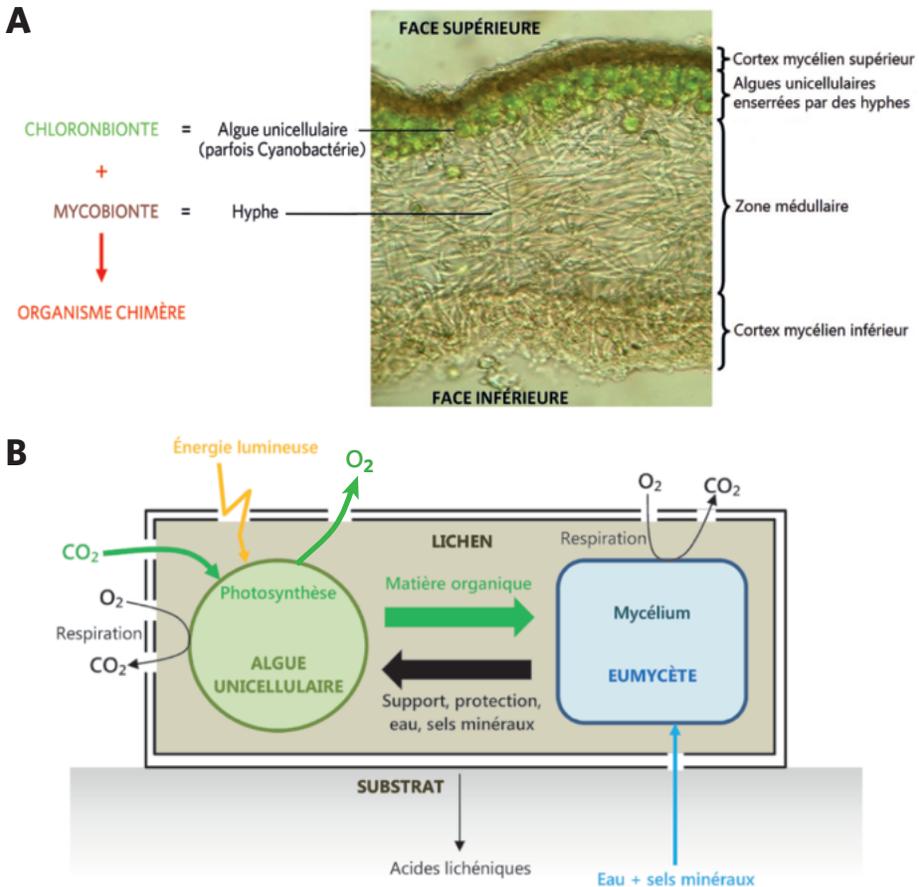
► **Figure 1.15.** *Saccharomyces cerevisiae* est un champignon unicellulaire fermentescible et qui bourgeoine en conditions favorables. A. L'observation au microscope optique de suspension de levures au MO (1) au MEB (2). B. Leur cycle de vie simplifié.

On observe ainsi, chez les unicellulaires libres, des structures cellulaires qui permettent la **réception d'informations**, le **déplacement** et l'**interaction** avec leur environnement.

### 2.1.2. Les unicellulaires symbiotiques interagissent avec leur partenaire

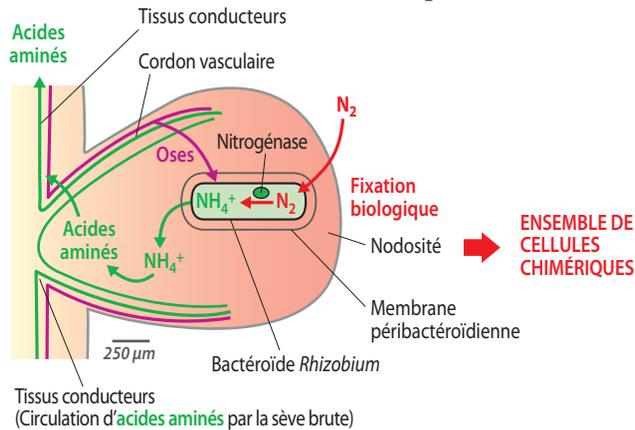
Les unicellulaires symbiotiques vivent **dans les tissus de leur partenaire à l'abri** des fortes variations des conditions biotiques et abiotiques du milieu et, le plus souvent, des prédateurs.

- Certaines **algues vertes unicellulaires** ou plus rarement certaines **Cyanobactéries** vivent en **symbiose** avec un **champignon**, formant un **organisme chimère** : un **lichen**. Le **mycobionte** sert de support, de protection et augmente le prélèvement de l'eau et des ions en étendant la surface d'échange avec le substrat. Le **photobionte** fournit une partie de ses molécules organiques produites lors de la photosynthèse. Ces interactions permettent aussi la synthèse d'**acides lichéniques**, qui ne sont pas présents si les deux partenaires sont séparés. Ces acides organiques faibles, colorés, semblent favoriser la rétention d'eau, l'absorption de la lumière (protection du photobionte) et la résistance à la pollution (stockage de métaux lourds notamment). Ils pourraient être toxiques pour les herbivores.



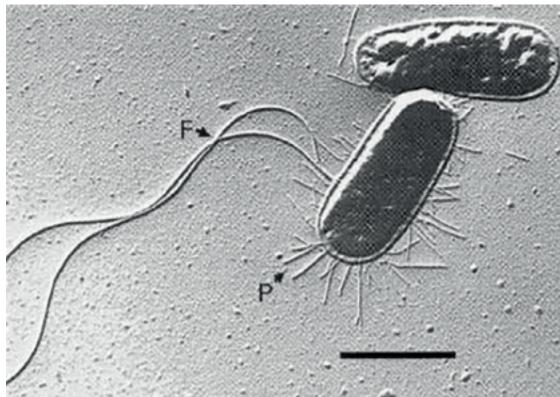
► **Figure 1.16.** Un lichen est un organisme chimère où un mycobionte et un photobionte unicellulaire sont en symbiose. A. L'observation d'un lichen en coupe transversale (MO x 400). B. Les échanges symbiotiques au sein d'un lichen.

• **Rhizobium** vit en **symbiose** dans les racines de certaines **Fabacées** (voir BCPST 1 - Chapitre 12 - *Le cycle de l'azote* et Chapitre 2 - *Regards sur un organisme Angiosperme : une Fabacée*). Dans les cellules de ces racines, la bactérie, enfermée dans une vésicule d'endocytose, se transforme en **bactéroïde** dont le génome code une enzyme, la **nitrogénase**. Cette enzyme catalyse la réduction du diazote atmosphérique  $N_2$  en ammoniac  $NH_3$  qui est utilisé par les cellules racinaires dans la **synthèse d'acides aminés**. Ces derniers constituent la source d'azote organique redistribuée à la plante partenaire par la sève brute. La plante fournit au bactéroïde une partie de ses oses produits lors de la photosynthèse. Ces interactions sont pérennisées grâce à la protection de *Rhizobium* dans les **nodosités** racinaires, où se forment des **cellules chimériques** : les cellules à bactéroïdes.



► **Figure 1.17.** Les nodosités racinaires des Fabacées abritent plusieurs *Rhizobium* dans des cellules chimériques : les cellules à bactéroïdes.

• **E. coli** peut vivre à l'état libre dans les milieux humides, mais elle est très abondante dans l'**intestin des Mammifères** avec qui elle vit en **symbiose**. Elle se déplace activement grâce à la rotation de **flagelles** protéiques **propulseurs** et elle peut se fixer temporairement à une surface grâce à de courts filaments protéiques non mobiles, les **pili** ou fimbriae (pilus ou fimbria au singulier). *E. coli* bénéficie de l'apport quasi continu de **molécules organiques** et elle produit de la vitamine K et des **colicines**, petites protéines toxiques pour certaines bactéries pathogènes des Mammifères. *E. coli* prolifère rapidement par **reproduction asexuée** par division transversale (scission) après répllication de l'ADN. On observe parfois une **parasexualité** au cours de laquelle il y a **transfert horizontal de gènes** (voir BCPST 1 - Chapitre 3 - *La diversification des génomes*).

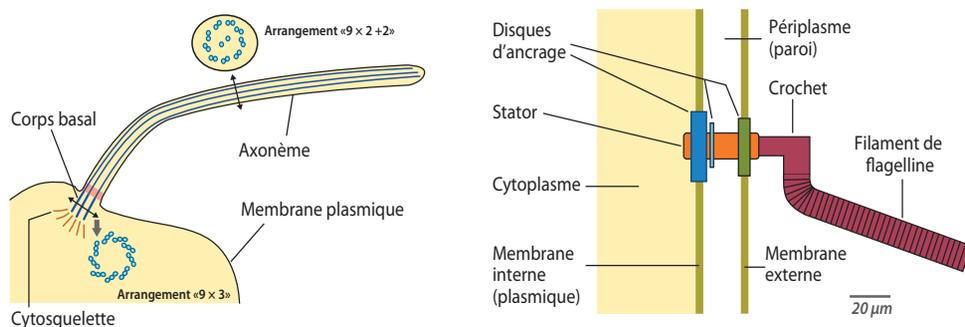


► **Figure 1.18.** *Escherichia coli* est une Bactérie symbiotique qui prolifère dans l'intestin des Mammifères : elle s'y fixe grâce à ses pili (P) et peut s'y déplacer grâce à ses flagelles (F) (barre d'échelle : 3 µm).

## ⚠ Attention !

*Chlamydomonas*, les paramécies, *E coli*, le *Plasmodium* et le trypanosome se déplacent activement grâce à leur(s) flagelle(s) ou leurs cils. Si le terme flagelle est utilisé chez tous ces unicellulaires, il regroupe deux types de structures différentes. Chez les eucaryotes unicellulaires (*Chlamydomonas*, le *Plasmodium* et le trypanosome, mais aussi les spermatozoïdes - voir Chapitre 5) les flagelles sont des extensions de la membrane plasmique sous-tendues par des microtubules disposés selon une répartition stricte. Lorsque les flagelles sont nombreux à la surface de la cellule et que leur taille est petite, on parle de cils (paramécies). Les cils comme les flagelles des eucaryotes comportent deux parties : l'axonème et le corps basal. L'axonème présente un arrangement de neuf doublets de microtubules périphériques et d'un doublet central ( $9 \times 2 + 2$ ). Le corps basal ancre l'axonème à la cellule. Dans le corps basal, les microtubules sont arrangés en neuf triplets ( $9 \times 3$ ).

Les flagelles bactériens (*E. coli*) sont constitués de flagelline et ne sont pas entourés par la membrane plasmique. Chaque flagelle est un tube creux formé par la polymérisation de monomères de flagelline. Il est ancré dans la membrane plasmique et la paroi par un système complexe de disques associé à un stator qui permet la rotation du flagelle. Les flagelles eucaryotes et bactériens ne sont donc pas homologues mais analogues.

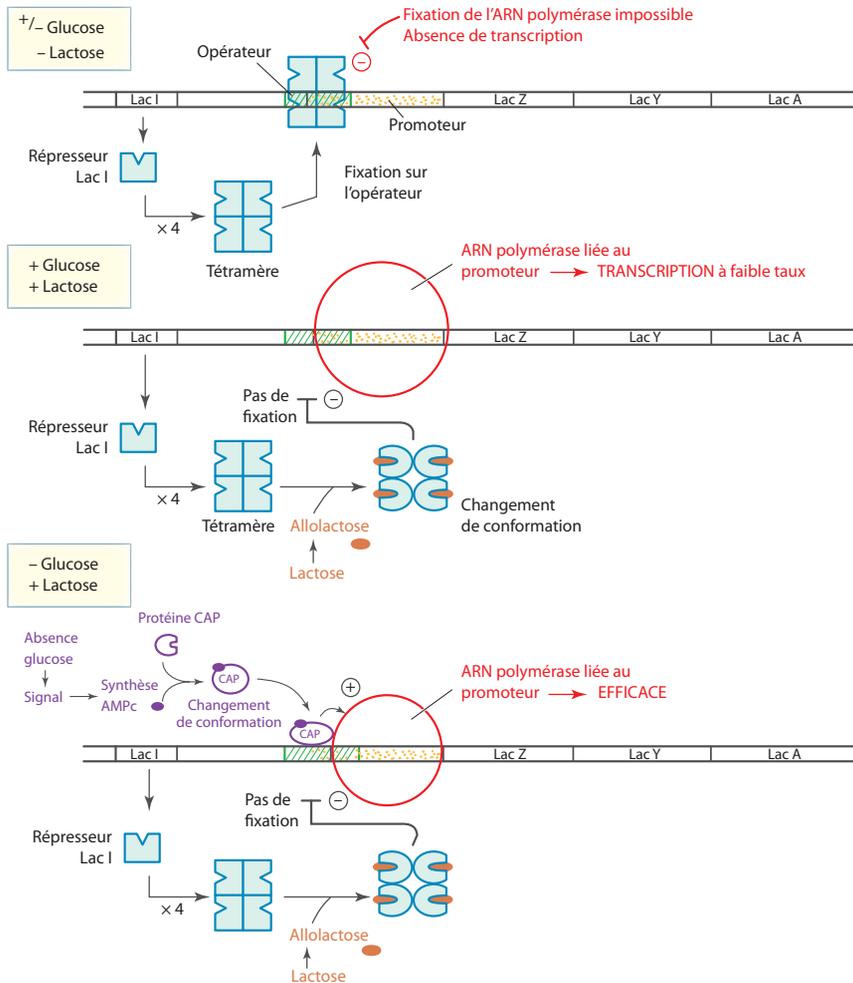


► A. L'organisation ultrastructurale d'un flagelle ou d'un cil eucaryote.  
B. L'organisation ultrastructurale d'un flagelle bactérien (Bactérie GRAM -).

Dans l'intestin le dioxygène peut être parfois absent, *Escherichia coli* réalise alors une **fermentation lactique** complexe (différente de celle réalisée par les bactéries lactiques comme *Lactobacillus* ou *Streptococcus*), alors qu'en aérobie le **métabolisme respiratoire** prend le relais. L'organisation du génome bactérien en **opéron** (voir BCPST 1 - Chapitre 12 - *Génome des cellules et des virus, transmission de l'information génétique*) permet d'adapter le fonctionnement de l'unicellulaire à la nature des molécules organiques présentes dans le milieu.

Dans l'**opéron lactose**, en absence de lactose, le **répresseur Lac I** se fixe sur l'**opérateur**, ce qui inhibe l'ARN polymérase, la transcription des trois gènes Lac Z, Y et A est alors limitée. En présence de lactose, le répresseur se détache de l'opérateur, car Lac I fixe l'**allolactose** (dérivé cellulaire du lactose) et le complexe change de conformation. Mais le départ de Lac I ne suffit pas à provoquer une transcription maximale des trois gènes. Il faut en plus qu'un activateur se fixe, cet **activateur** est appelé **CAP** (Protéine Activatrice du Catabolisme) et il augmente l'affinité de l'ARN polymérase pour le promoteur de l'opéron. L'action de CAP est provoquée par l'**AMPc**, dont la quantité est inversement proportionnelle à la quantité de glucose métabolisé par l'unicellulaire. Ainsi lorsque la concentration de glucose dans le milieu est élevée, la concentration d'AMPc diminue, ce qui détache l'AMPc de CAP, qui change de conformation : l'activateur CAP ne peut

plus agir. La transcription s'arrête et *E. coli* peut alors uniquement utiliser le glucose. Ainsi, lorsque le glucose est présent dans le milieu, aucune autre source de carbone ne peut être métabolisée. En absence de glucose et en présence de lactose, le départ de Lac I et la fixation de CAP entraînent l'expression maximale des gènes Lac Z, Y et A. L'opéron lactose est ainsi sous **contrôle négatif**, par le **répresseur** Lac I qui se fixe sur l'opérateur en absence de lactose, et sous **contrôle positif** par l'**activateur** CAP qui n'agit qu'en absence de glucose.



► **Figure 1.19.** L'opéron lactose est soumis à un double contrôle. L'opéron code trois gènes :

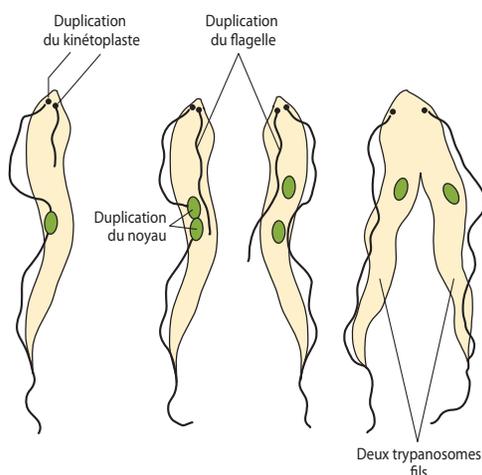
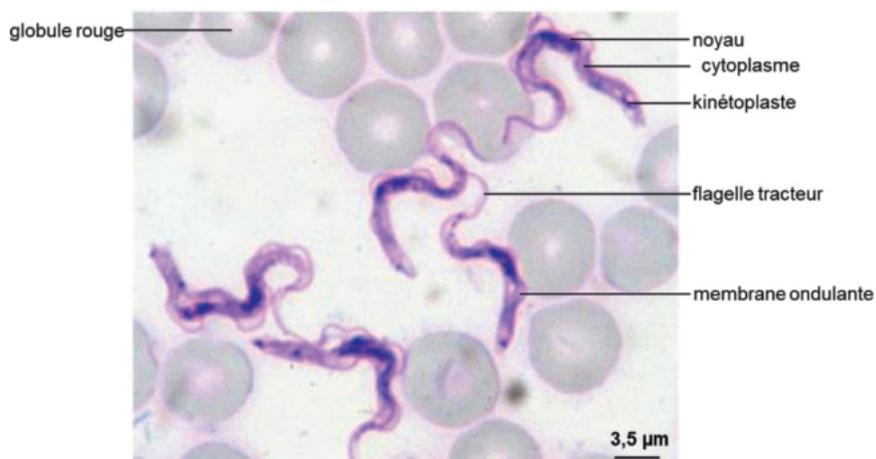
- Lac Z codant la  $\beta$ -galactosidase qui hydrolyse le lactose en glucose et galactose ;
- Lac Y codant la lactose perméase, protéine membranaire qui permet l'entrée du lactose dans la bactérie ;
- Lac A codant la thiogalactoside-transacétylase permettant au métabolisme d'utiliser des molécules proches du lactose, les thiogalactosides.

Même si les unicellulaires symbiotiques vivent dans un environnement privilégié, on y observe également des structures cellulaires qui permettent la **réception d'informations**, parfois le **déplacement** et l'**interaction** avec leur partenaire. Ces interactions entraînent souvent des **modifications du transcriptome** et du **protéome** des unicellulaires.

### 2.1.3. Les unicellulaires parasites interagissent avec leur hôte

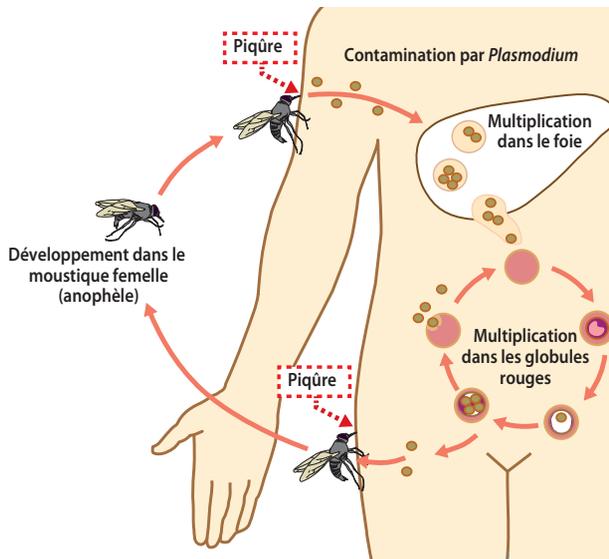
Les unicellulaires parasites se nourrissent aux dépens de l'hôte et ils sont **pathogènes** pour leur hôte principal.

- Le **trypanosome** se déplace activement dans le sang et le liquide céphalo-rachidien humains et dans l'hémolymphe de la glossine grâce à un **long flagelle** relié en grande partie à la membrane plasmique formant une **membrane ondulante**. Cette dernière en augmentant la surface de contact avec le fluide porteur, contribue à l'efficacité des déplacements. L'unicellulaire est transmis à l'être humain à l'occasion d'une piqûre de la mouche tsé-tsé qui se nourrit de sang. Il prolifère dans ses deux hôtes par **reproduction asexuée** par **division longitudinale** après duplication des organites. Si sa présence n'a pas de conséquence chez la mouche, il provoque chez l'être humain de multiples symptômes : fièvre, maux de tête, fatigue, inflammation des nœuds lymphatiques, etc. En l'absence de traitement, les parasites envahissent le système nerveux central provoquant la mort. Le trypanosome échappe en grande partie à la réponse immunitaire grâce à la **modification régulière de ses protéines membranaires** ou GVS (glycoprotéines variantes de surface), qui servent d'antigènes (voir Section 3.2).



► **Figure 1.20.** Le trypanosome se déplace activement et se multiplie dans les liquides intercellulaires de ses hôtes.  
 A. Une observation d'un frottis sanguin de rat (MO coloration au Giemsa).  
 B. Schématisation de sa reproduction asexuée par division longitudinale.

• Le *Plasmodium* est injecté dans le sang humain par la piqûre de l'anophèle femelle. Il pénètre puis prolifère **dans les hépatocytes** puis **dans les hématies**. Au cours de son cycle parasitaire complexe, l'unicellulaire alterne les phases de **reproduction asexuée** (mitoses) et **sexuée** (méiose et fécondation se déroulant chez les anophèles). Lors des courtes phases extracellulaires, le *Plasmodium* se déplace soit passivement, emporté le flux sanguin chez l'humain ou salivaire chez le moustique, soit activement à de très courtes distances par déformations. **Protégé à l'intérieur des cellules humaines**, il échappe à la réponse immunitaire, car lorsqu'il est extracellulaire, il est présent en très grand nombre et pendant un temps très court, le **système immunitaire est débordé**. De plus il a été montré récemment que le *Plasmodium*, comme le trypanosome, **modifie régulièrement ses protéines membranaires** de surface. La présence du *Plasmodium* n'a pas de conséquence chez l'anophèle, mais elle provoque chez l'être humain une forte chute de la glycémie et du nombre d'hématies, une fatigue et des fièvres chroniques qui surviennent au moment de la libération des unicellulaires par lyse simultanée de toutes les hématies infectées (toutes les 48 heures pour *Plasmodium falciparum*). On observe parfois des formes de paludisme graves pouvant entraîner des complications neurologiques (troubles du comportement, convulsions, coma) puis la mort ou pouvant laisser des séquelles durables, notamment chez les enfants.



► **Figure 1.21.** Le cycle parasitaire simplifié de *Plasmodium falciparum*.



### Attention !

La fécondation se déroulant chez l'anophèle femelle, au sens biologique, le moustique est considéré comme l'hôte principal (ou définitif) du *Plasmodium*, l'être humain étant alors le vecteur (hôte intermédiaire). Mais, puisque seul l'être humain est malade en présence du parasite, au sens médical, on considère que l'être humain correspond à l'hôte principal tandis que le moustique est le vecteur. C'est cette définition médicale qui est la plus souvent employée.



### VIDÉO EXPLICATIVE

Retrouvez une vidéo montrant, en deux parties, le cycle de vie de la malaria, ici :

[www.lienmini.fr/212983\\_VIDEO\\_1F](http://www.lienmini.fr/212983_VIDEO_1F)



[www.lienmini.fr/212983\\_VIDEO\\_1G](http://www.lienmini.fr/212983_VIDEO_1G)



On observe ainsi, chez les unicellulaires parasites, des structures cellulaires qui permettent la **réception d'informations**, le **déplacement** et l'**interaction** avec l'hôte parasité. Ces interactions qui entraînent souvent des **modifications du transcriptome** et du **protéome** des unicellulaires, permettent aux unicellulaires parasites de survivre aux réactions de défense de l'hôte aux dépens duquel ils se nourrissent et se reproduisent.

## 2.2. Ces interactions sont essentielles au fonctionnement des écosystèmes

Les unicellulaires interagissent avec les **autres organismes des écosystèmes**.

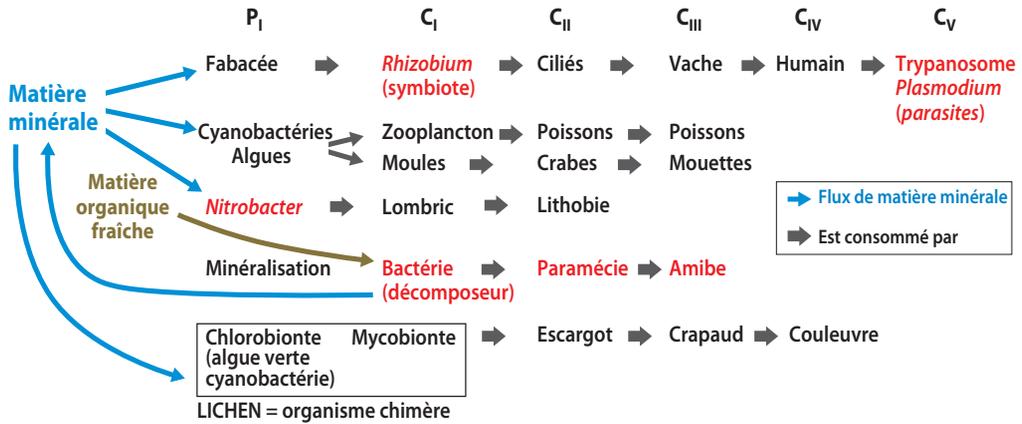
Les unicellulaires **photolithotrophes** (*Chlamydomonas* et les Cyanobactéries) et **chimioolithotrophes** (*Nitrobacter*) sont des **producteurs primaires**, ils sont donc à l'origine des flux de matière et d'énergie dans les écosystèmes.

Les unicellulaires **libres** bactériens (*E. coli*) et Ciliés (paramécie) ou les unicellulaires symbiotiques (bactériens et ciliés) de la **panse** de la vache, ainsi que les unicellulaires **parasites** sont des **consommateurs**, qui sont aussi des sources de nourriture pour des consommateurs de niveau supérieur.

Tous ces unicellulaires sont donc au cœur des flux de matière et d'énergie dans les écosystèmes. Les unicellulaires symbiotiques, comme ceux présents chez la vache, ont également une action quantitative sur les flux énergétiques, car la symbiose permet de limiter les pertes énergétiques et d'améliorer fortement le **rendement écologique** (voir BCPST 1 - Chapitre 16 - *Les écosystèmes : structure, fonctionnement et dynamique*).

De nombreux **champignons unicellulaires** et **bactéries** sont des **décomposeurs** de la matière organique issue d'organismes morts ou de leurs déchets (voir Chapitre 13 - *Les sols*). Les unicellulaires sont donc indispensables au **recyclage de la matière** organique dans les écosystèmes. La matière organique contient à la fois du carbone et de l'azote, l'activité des unicellulaires décomposeurs permet un **couplage entre le cycle de l'azote et du carbone** et est responsable de nombreuses étapes du **cycle de l'azote** (voir Chapitre 11 - *Le cycle de l'azote*).

En raison de leurs interactions avec tous les autres organismes des écosystèmes, les unicellulaires influencent également la manière dont les individus des différentes espèces se répartissent dans les écosystèmes. Ces interactions **structurent les écosystèmes**. Les unicellulaires sont ainsi au cœur des grands mécanismes qui gouvernent la structure spatiale des écosystèmes comme l'**effet Janzen-Connell** ou le **principe d'exclusion compétitive** (voir BCPST 1 - Chapitre 16 - *Les écosystèmes : structure, fonctionnement et dynamique*).



► **Figure 1.22.** Les unicellulaires sont des producteurs primaires, des consommateurs ou des décomposeurs dans les réseaux trophiques.



### À retenir

Les organismes unicellulaires, procaryotes comme eucaryotes, ont un mode de vie libre isolé ou regroupé au sein de biofilms, symbiotique ou parasite. Ils sont constitués d'une seule cellule capable d'assurer l'ensemble des grandes fonctions vitales à tout être vivant : nutrition, relation et reproduction. Les unicellulaires interagissent avec les facteurs abiotiques des écosystèmes et avec tous les autres organismes vivants. Ils sont donc présents à tous les niveaux trophiques des écosystèmes, en particulier pour l'assimilation et le recyclage de la matière. Les unicellulaires sont ainsi indispensables aux flux de matière et d'énergie des écosystèmes et à leur structuration.

## 3 Les organismes unicellulaires appartiennent à des groupes très variés de l'arbre du vivant

### 3.1. La place des organismes unicellulaires dans l'arbre du vivant

Les **unicellulaires procaryotes** se positionnent au sein de groupes d'unicellulaires dont les ancêtres partageaient déjà ce caractère.

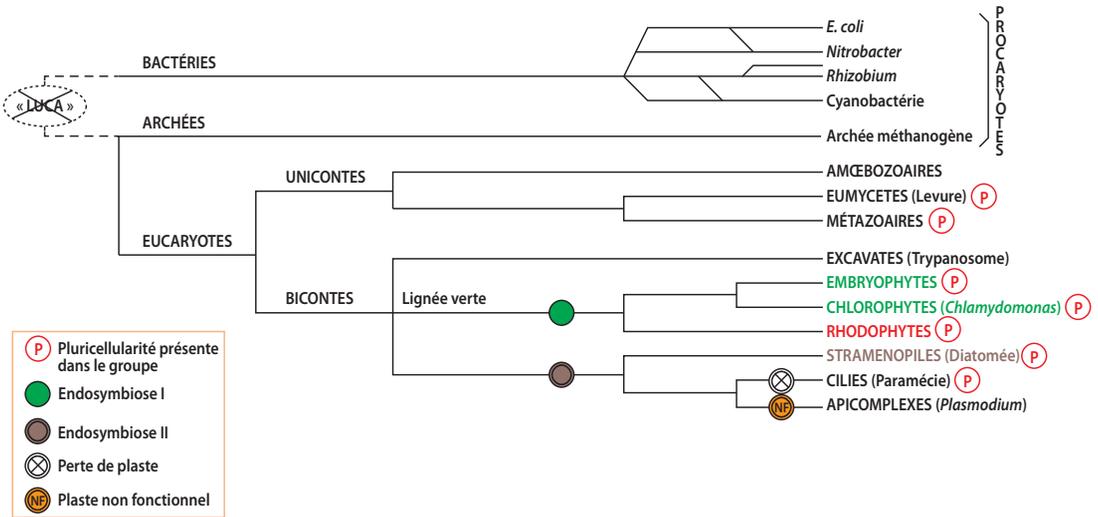
Les **unicellulaires eucaryotes** se positionnent au sein de différents groupes de pluricellulaires :

- levures chez les Eumycètes ;
- *Chlamydomonas* dans la lignée verte ;
- diatomées chez les Straménopiles (Hétérocontes).

Ces groupes, comme tous les pluricellulaires eucaryotes, sont issus d'un ancêtre commun unicellulaire. L'état unicellulaire est donc un **caractère ancestral** perdu lors de l'acquisition d'une **innovation évolutive** : la pluricellularité. Mais dans certains groupes cette innovation a été perdue, et le retour à l'état ancestral, l'unicellularité, montre que l'**évolution** peut être **régressive**.

La présence de l'**état unicellulaire** dans de très nombreuses branches de l'arbre du vivant, démontre que ce caractère n'est pas issu d'un lien de parenté entre les organismes unicellulaires, mais d'une **convergence évolutive**. Le caractère unicellulaire est le produit de la **convergence évolutive** et de l'**évolution régressive**, c'est une **homoplasie**. (voir Chapitre 10 - *Les mécanismes de l'évolution et l'analyse des arbres phylogénétiques pour construire des scénarios évolutifs*).

Les Eucaryotes unicellulaires constituent un **groupe paraphylétique** puisqu'il exclut tous les Eucaryotes pluricellulaires (voir BCPST 1 - Chapitre 17 - *Classer la biodiversité*).



► **Figure 1.23.** Le caractère unicellulaire est un caractère acquis par convergence évolutive ou évolution régressive.

## 3.2. Les unicellulaires participent à l'évolution du vivant

### 3.2.1. Les unicellulaires participent à l'évolution réticulée

Certains unicellulaires sont capables de réaliser des **transferts horizontaux de gènes**, c'est par exemple le cas de la **transformation** entre bactéries (voir Chapitre 3 - *La diversification des génomes*). Ces transferts sont courants au sein des **biofilms**.

Les transferts horizontaux existent aussi entre procaryotes et unicellulaires, ou pluricellulaires, eucaryotes mais ils sont beaucoup plus rares. Ils sont également très rares entre unicellulaires eucaryotes.

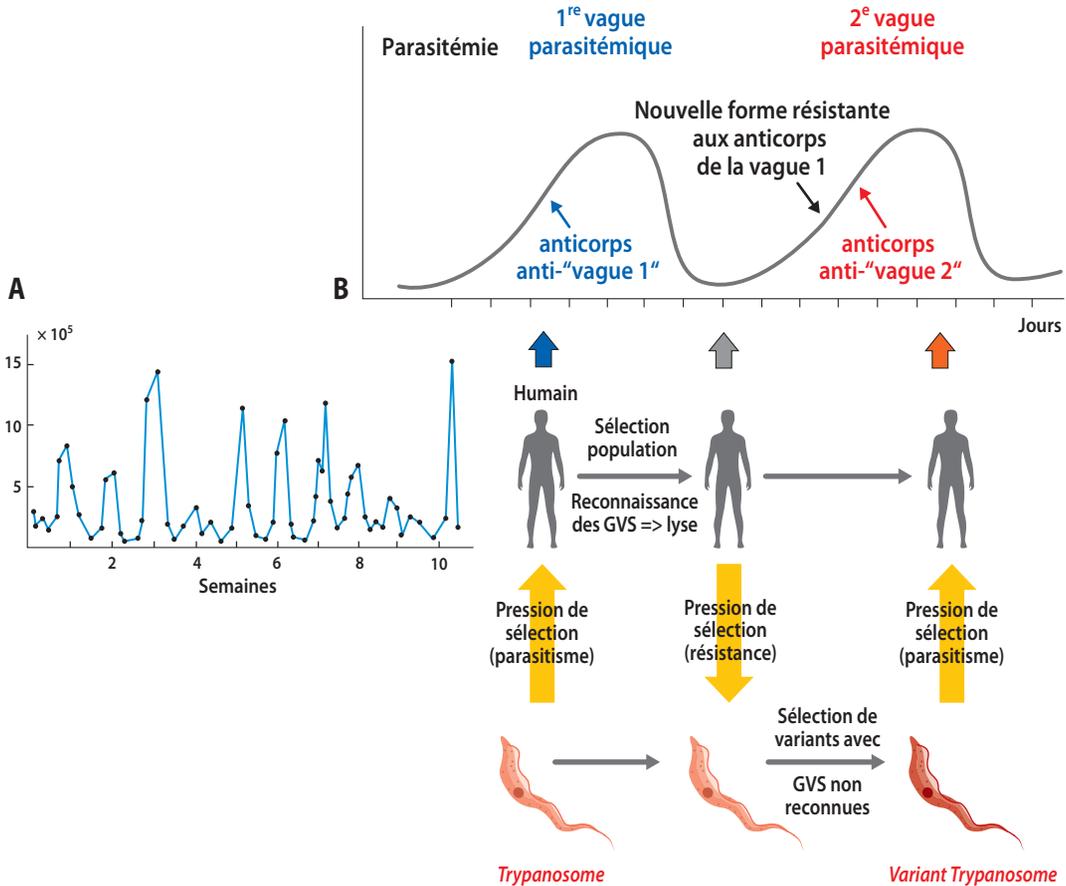
Les transferts horizontaux de gènes, occupent cependant une place importante dans l'évolution comme lors des processus d'**endosymbiose** (voir Chapitre 10 - *Les mécanismes de l'évolution et l'analyse des arbres phylogénétiques pour construire des scénarios évolutifs*).

### 3.2.2. Les unicellulaires participent à la coévolution

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

Par exemple, dès que les trypanosomes se multiplient, le système immunitaire humain crée des anticorps qui les détruisent. Leur disparition est presque totale, mais certains **trypanosomes** modifient leurs GVS (glycoprotéines variantes de surface), ce qui les rend indétectables, tant que le système immunitaire ne produit pas de nouveaux anticorps. Ils peuvent ainsi se multiplier à nouveau ce qui se traduit par une nouvelle vague parasitémique. Le système immuni-

taire réagit en produisant de nouveaux anticorps actifs contre les nouvelles GVS. La nouvelle vague est ainsi stoppée, elle disparaît presque totalement et un nouveau cycle recommence. La pression de sélection exercée par les trypanosomes a favorisé les êtres humains au système immunitaire performant. La réaction immunitaire a exercé en retour une pression de sélection sur les parasites. Les parasites pouvant contourner cette réaction, grâce à de nouvelles GVS, ont alors à nouveau pris l'avantage. Au fil du temps, l'évolution de la population de parasites induit l'évolution de la population des parasites, il y a **coévolution**.



► **Figure 1.24.** Les vagues de parasitémie du trypanosome sont le résultat d'une coévolution. A. La variation de la parasitémie (en nombre de trypanosome par mL de sang). B. Les vagues parasitémiques sont issues des pressions de sélection entre hôte et parasite.

On observe ainsi une **coévolution** des unicellulaires avec leurs hôtes parasités, leurs partenaires symbiotiques ou leurs compétiteurs.

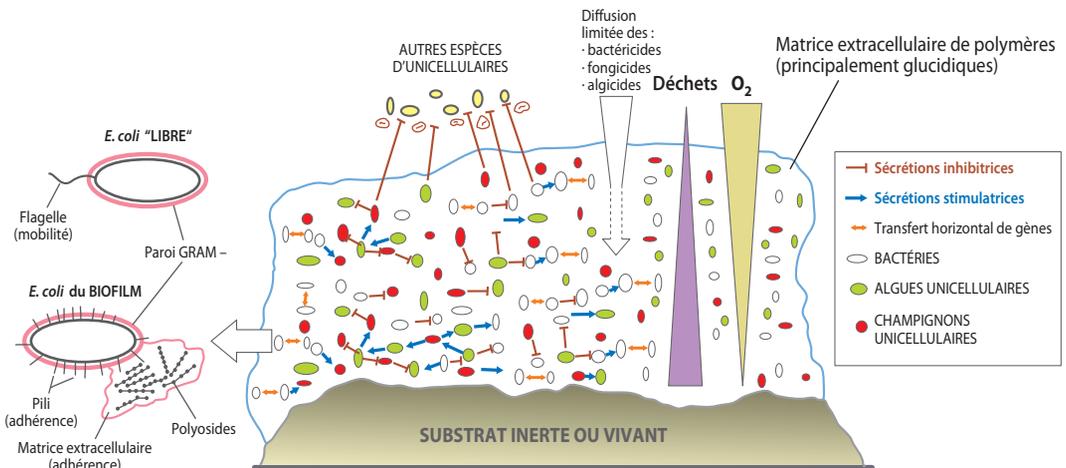
### 3.2.3. Les unicellulaires participent à la colonisation des nouveaux écosystèmes

La plupart des unicellulaires ne vivent pas seuls, mais au sein de **biofilms**. Ils recouvrent les **surfaces inertes** tels que le sable, des galets ou des rochers, ou les **surfaces d'autres organismes vivants**, externes 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. 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. Au sein des biofilms, 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 polyosides.

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.



► Figure 1.25. Les interactions au sein d'un biofilm.

Les biofilms modifient la roche mère et participent à la formation du **sol** (voir Chapitre 13 - *Les sols*). Ils forment des « pelouses » pour les organismes brouteurs aquatiques ou terrestres. Les biofilms favorisent ainsi l'installation d'autres êtres vivants, les espèces d'unicellulaires des biofilms sont donc des **espèces pionnières**.



### À retenir

La place des organismes unicellulaires dans l'arbre du vivant montre que l'évolution est réticulée. L'évolution ne complexifie pas toujours et peut être régressive. En effet certains unicellulaires réalisent des transferts horizontaux de gènes et l'unicellularité est un caractère ancestral ou acquis par homoplasie à la faveur de réversions.

Les unicellulaires forment souvent des biofilms. Dans ces micro-écosystèmes, les unicellulaires interagissent étroitement et prolifèrent.

Les unicellulaires isolés ou associés en biofilms sont des acteurs majeurs de l'évolution, de la coévolution du vivant et de la colonisation des écosystèmes.

# SCHÉMA-BILAN

			Source d'électrons	
			Minérale	Organique
			Lithotrophe	Organotrophe
Source d'énergie	Lumineuse	Phototrophe	<b>Photolithotrophe</b>  Diatomées, Cyanobactéries, Chlamydomonas	<b>Photoorganotrophe</b>
	Chimique	Chimiotrophe	<b>Chimiolithotrophe</b>  Nitrobacter	<b>Chimioorganotrophe</b>  Saccharomyces cerevisiae Paramécie Escherichia coli Rhizobium Trypanosome Plasmodium falciparum

# TIPE

## UN ENJEU, UNE ÉCOLE, UN MÉTIER

### Un enjeu

Il semble que la population bactérienne de l'intestin humain, ou microbiote intestinal, établit des liens forts avec le cerveau. Par exemple, un déséquilibre de la population du microbiote serait à l'origine de divers troubles neurologiques ou psychiatriques. En effet, ce déséquilibre semble provoquer la quasi-disparition de certains lipides intestinaux issus du métabolisme bactérien. On ne se sait pas si ces lipides sont pour les bactéries des déchets ou des molécules de communication, mais ils sont essentiels au fonctionnement du cerveau, et leur absence favorise l'émergence d'un état dépressif. L'apport de certaines bactéries à l'alimentation, sous forme de probiotique, pourrait rétablir un microbiote sain et lutter efficacement contre ces troubles. De nombreuses études sont actuellement réalisées, pour vérifier et mieux comprendre le rôle du microbiote dans le développement d'autres pathologies telles que le diabète, l'obésité, les maladies inflammatoires chroniques (maladie de Crohn, etc.), les maladies du foie ou le cancer du côlon.



Modélisation des bactéries de la flore intestinale.

### Une école

Si vous souhaitez exercer un métier dans de la nutrition et la santé, vous pouvez vous orienter vers certaines écoles du concours commun AgroVéto, comme Bordeaux Sciences Agro, l'EN-SAT à Toulouse, l'ENSAIA à Nancy, AgroSup Dijon, ONIRIS Nantes Atlantique, ou vers certaines écoles du concours Polytech A, comme PolyTech Lille, Marseille, Paris Sorbonne, l'ESIAB de Brest, l'ESIROI de Saint Denis de La Réunion et l'ESIX de Caen.

#### ► Sur le Web

<b>Bordeaux Sciences Agro</b>
<a href="http://www.agro-bordeaux.fr">www.agro-bordeaux.fr</a>


Bordeaux Sciences Agro vous propose 12 spécialisations en 3<sup>e</sup> année réunies en 7 thématiques : *Feed & Food* (spécialisations : filières animales durables ou alimentation et nutrition santé ou management qualité-santé-environnement des filières alimentaires/Agroécologie (spécialisations : agroécologie et gestion des ressources ou gestion des ressources de l'environnement)/Viticulture-œnologie (spécialisations : viticulture-œnologie ou Vitimanage)/Numérique

pour l'agriculture (AgroTIC)/Entreprises et territoires (spécialisations agricoles, proximité et territoires d'ici et d'ailleurs ou stratégie, entrepreneuriat et management des entreprises agricoles)/Forêt-Bois (management forestier et logistique d'approvisionnement en bois)/Installation en exploitation agricole (management et installation en exploitation agricole).

### ► Les doubles diplômes et passerelles

- La spécialisation Viticulture-œnologie permet l'obtention en parallèle du Diplôme National d'Œnologie (DNO) grâce au partenariat avec l'Institut des Sciences de la Vigne et du Vin (ISVV) de Bordeaux – Aquitaine.

- Vous pouvez également effectuer votre spécialisation dans une école partenaire et valider des diplômes de type master co-accrédité. Les masters « Biologie, Agrosociétés » ou « Biodiversité, Écologie et Évolution » ou « Management des entreprises vitivinicoles » co-accrédités avec l'Université de Bordeaux. Le master « Gestion des territoires et développement local » co-accrédité avec l'Université de Bordeaux-Montaigne. Le master « *Global Quality in European Livestock Production* » co-accrédité avec VetAgroSup. Le master « vigne et vin » co-accrédité avec Institut Agro Montpellier SupAgro.

### ► La mobilité avec l'étranger

Tous les étudiants de l'école doivent effectuer une mobilité internationale d'au moins 3 mois lors du semestre 7 (premier semestre de 2<sup>e</sup> année).

## Un métier : les secteurs et entreprises de recrutement

La formation d'ingénieur agronome de Bordeaux Sciences Agro mène à une large palette de métiers dans les secteurs : de la production animale ; de la transformation (dans l'agroalimentaire et la nutrition-santé, l'alimentation animale, les industries du bois) ; de la distribution et commerce des produits agricoles et liés à l'agriculture ; du développement des territoires et environnement ; des collectivités et organisations professionnelles agricoles ; des services de la fonction publique : collectivités territoriales, ministères et services déconcentrés ; de l'enseignement et de la recherche, publique ou privée ; des services dans des cabinets de conseils et de gestion, banques et assurances, informatique ; de l'agrofouritures ; de la production végétale ; de la viticulture-œnologie et de la sylviculture.

# EXERCICES

## Réviser son cours

---

### QCM D'AUTO-ÉVALUATION

**1. Les diatomées, les Cyanobactéries et *Chlamydomonas* sont :**

- a. hétérotrophes.
- b. autotrophes.
- c. photolithotrophes.
- d. chimiolithotrophes.

**2. Les levures sont... :**

- a. des bactéries phagotrophes.
- b. des champignons phagotrophes.
- c. des algues autotrophes.
- d. des champignons absorbotrophes.
- e. des Eucaryotes unicellulaires.

**3. *Rhizobium* et *E. coli* sont des bactéries :**

- a. GRAM +.
- b. GRAM -.
- c. exclusivement libres dans les sols humides.
- d. symbiotiques des Mammifères.
- e. parasites des Fabacées.

**4. *Saccharomyces cerevisiae* ou levure de boulanger :**

- a. respire en anaérobiose.
- b. respire en aérobie.
- c. est capable de réaliser une fermentation alcoolique.
- d. est capable de réaliser une fermentation lactique.

**5. Le trypanosome est un organisme unicellulaire parasite :**

- a. dont l'hôte principal est la glossine (mouche tsé-tsé).
- b. dont le vecteur (hôte intermédiaire) est la glossine (mouche tsé-tsé).
- c. dont le vecteur (hôte intermédiaire) est l'anophèle.
- d. intracellulaire.

**6. Dans l'opéron lactose :**

- a. le répresseur Lac I se détache de l'opérateur en absence de lactose.
- b. le répresseur Lac I se fixe sur le promoteur en absence de lactose.
- c. le répresseur Lac I exerce un contrôle négatif de l'opéron.
- d. la protéine CAP exerce un contrôle négatif de l'opéron.
- e. l'expression des gènes Lac Z, Y et A est maximale en absence de glucose et en présence de lactose.

## S'entraîner à l'analyse de documents

●○○  
20 min.

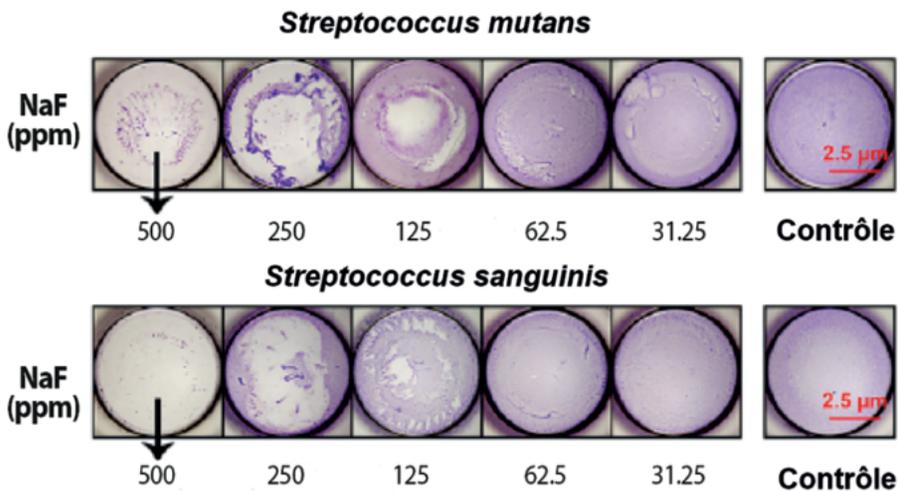
### EXERCICE 1 Effet du fluor sur les bactéries de la plaque dentaire

Des bactéries buccales sont responsables des caries. De façon empirique, on a constaté que la présence de fluor dans les dentifrices réduisait la probabilité d'apparition des caries. On cherche à en comprendre les mécanismes, alors que se développe l'usage de dentifrices dits « naturels » ou « faits maison » sans fluor.

#### Piste d'exploitation

##### 1. Quels sont les enjeux sociétaux de ce type d'études ?

Des bactéries buccales provoquant des caries, *Streptococcus mutans* et *Streptococcus sanguinis* sont mises en culture dans des boîtes de Petri, en présence d'une concentration variable de fluorure de sodium (NaF). Les bactéries sont dispersées sur toute la surface de la boîte lors de leur mise en culture, de sorte qu'elles n'adhèrent pas entre elles. La présence des bactéries est révélée avec un colorant violet.



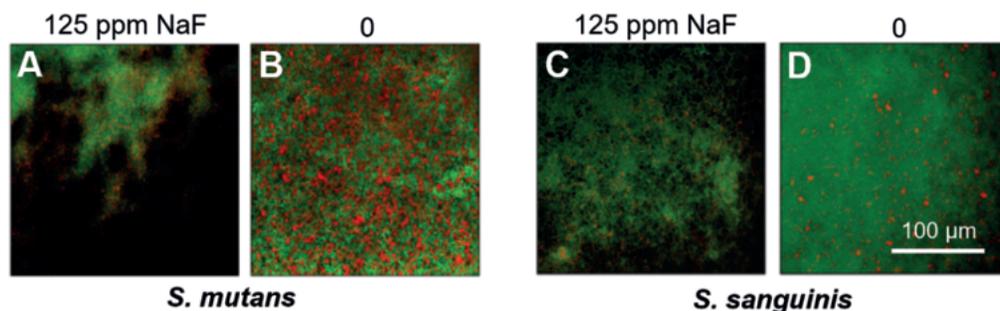
**Figure A.** Les résultats des cultures monospécifiques de deux streptocoques buccaux provoquant des caries, en présence d'une concentration croissante de fluor (de droite à gauche, en partie par million par volume).

#### Pistes d'exploitation

##### 2. Analysez la figure A et comparez les résultats pour les deux espèces de streptocoques pathogènes.

Sur les dents, les bactéries se regroupent en biofilm. La présence d'un biofilm réduit l'action bactéricide de nombreuses molécules. Des cultures monospécifiques de bactéries en biofilm sont soumises à une concentration de 125 ppm de fluor. Les bactéries sont marquées en vert et les polysaccharides extracellulaires qui les associent en un biofilm sont marqués en rouge.

##### 3. Pourquoi ne pouvait-on pas extrapoler les données de la figure A à la situation *in vivo* ? Quel est l'intérêt d'une culture en biofilm ?



**Figure B.** Les cultures en biofilm de *S. mutans* (A et B) et *S. sanguinis* (C et D) en absence de fluor (« 0 » B et D) ou 125 ppm de fluor (A et C). Les bactéries sont marquées en fluorescence verte et les polysaccharides extracellulaires en fluorescence rouge. L'absence de bactéries donne une couleur noire.

### Pistes d'exploitation

4. Quel est l'effet du fluor sur les deux biofilms bactériens ? Comparez ces résultats à ceux de la figure A.
5. Pourquoi cultiver chaque espèce séparément peut être un biais par rapport à ce qui se produit dans la bouche ?
6. Proposez une stratégie d'étude de l'effet du fluor sur les bactéries buccales qui ne comporterait pas ce type de biais. Quelle est la limite de cette approche par rapport à la problématique ?

●●○  
25 min.

## EXERCICE 2 Cyanobactéries et rythme circadien

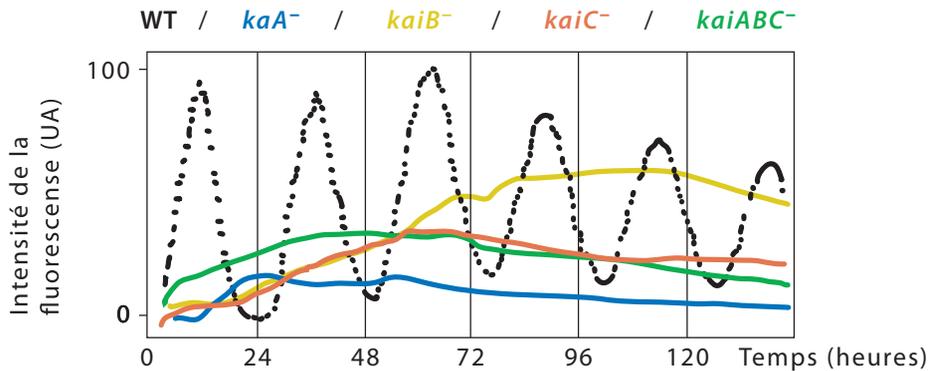
Une grande population bactérienne peut être comparée à un « super-organisme » et dans cette perspective, un programme temporel de 12 ou 24 heures pourrait effectivement améliorer l'adaptation de ces bactéries à un environnement rythmé par les alternances jour/nuit surtout s'il s'agit de bactéries photosynthétiques.

On cherche ici à montrer que la rythmicité circadienne existe aussi chez des bactéries non symbiotiques, les Cyanobactéries.

À la fin des années 1990, l'étude de souches mutantes a permis d'identifier un groupe de trois gènes, dénommés *kaiA*, *kaiB* and *kaiC* ; « kai » signifiant « rotation » en japonais. Ces gènes codent des protéines essentielles à la fonction « d'horloge interne » des Cyanobactéries : c'est ce que l'on se propose d'étudier ici.

## Partie 2. Intervention des protéines Kai A, B et C dans l'horloge biologique des Cyanobactéries

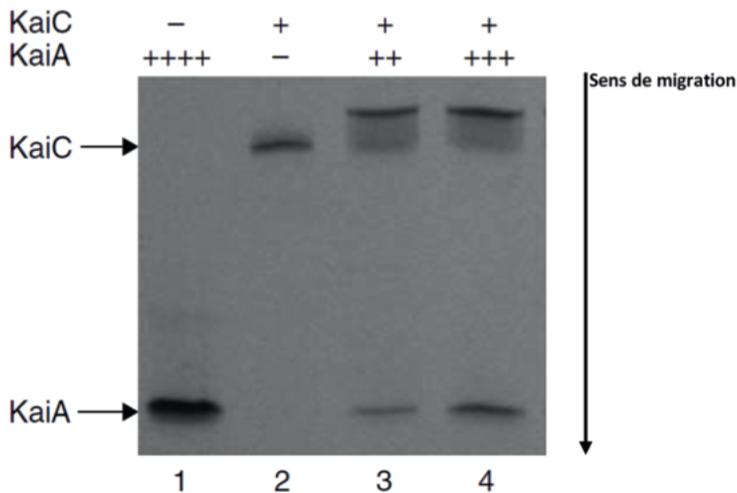
Par modification génétique, on remplace un gène qui s'exprime de façon cyclique chez les Cyanobactéries par le gène d'une protéine fluorescente (Cyanobactérie WT). Dans un second temps, on mute certaines de ces bactéries afin d'inactiver spécifiquement le gène codant KaiA (Cyanobactéries nommées KaiA<sup>-</sup>) ou KaiB (Cyanobactéries nommées KaiB<sup>-</sup>) ou KaiC (Cyanobactéries nommées KaiC<sup>-</sup>) ou les trois à la fois (Cyanobactéries nommées KaiABC<sup>-</sup>).



**Figure A.** La quantité d'une protéine qui s'exprime naturellement de façon cyclique, mesurée dans les Cyanobactéries mutées Kai A<sup>-</sup>, KaiB<sup>-</sup>, KaiC<sup>-</sup>, KaiABC<sup>-</sup> et WT.

## Partie 2. Interaction des protéines Kai entre elles

Les protéines KaiA et KaiC sont extraites de Cyanobactéries sauvages. Des tests d'interaction sont réalisés par électrophorèse en conditions natives, suivies d'un *Western-Blot* à l'aide d'anticorps spécifiques de la protéine KaiA ou KaiC.



**Figure B.** Le *Western-Blot* après gel d'électrophorèse en conditions natives de différents mélanges de protéines Kai

- : absence de la protéine
- + : présence de la protéine à la concentration de 10 pM (=  $10 \cdot 10^{-12}$  mol.L<sup>-1</sup>)
- ++ : présence de la protéine à la concentration de 20 pM
- +++ : présence de la protéine à la concentration de 35 pM

L'extraction de la protéine KaiC, à différents moments chez des Cyanobactéries sauvages, montre que cette protéine peut être phosphorylée ou non.

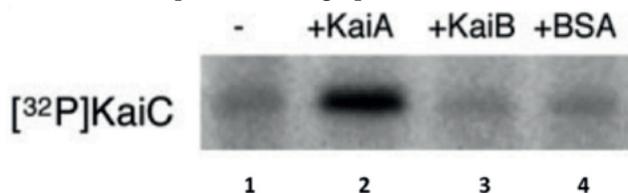
Afin de comprendre les conditions de cette phosphorylation, le protocole suivant est réalisé :

- des protéines KaiC déphosphorylées sont incubées en conditions natives en présence

d'ATP radioactif (radioactivité  $^{32}\text{P}^*$  portée par le troisième groupement phosphate) et d'un troisième composant : la protéine KaiA, la protéine KaiB ou la protéine BSA (albumine de sérum de Bœuf) ;

- après incubation, un dépôt de chaque mélange est réalisé pour une électrophorèse sur gel SDS-PAGE. On vérifie que la même quantité de protéines totales est déposée dans les 4 puits ;

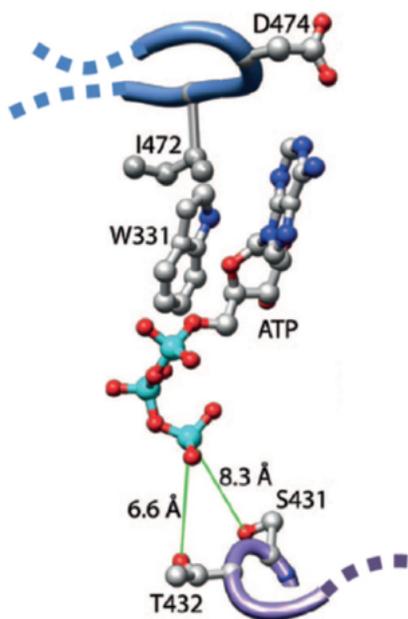
- la radioactivité est révélée par autoradiographie.



**Figure C.** Les gels SDS-PAGE et leur autoradiographie après incubation de KaiC dans différentes conditions. - : KaiC + ATP\* ; + : KaiC + ATP\* + une autre protéine (KaiA, KaiB ou BSA)

### Partie 3. Organisation fonctionnelle de KaiC

La protéine KaiC est extraite, purifiée et cristallisée pour établir un profil de diffraction aux rayons X visant à révéler précisément sa structure moléculaire. Cette opération est répétée avec différents ligands potentiels de la protéine.



**Figure D.** Les résultats de l'interprétation d'un profil de diffraction aux rayons X à partir d'une solution comprenant la protéine KaiC et de l'ATP. Seule une partie de la protéine figure ici (boucle bleue en haut de l'image et boucle violette en bas de l'image). Les résidus de KaiC sont nommés par une lettre (nature de l'acide aminé) et un chiffre (place de l'acide aminé dans la chaîne polypeptidique). Les traits verts indiquent les distances entre la protéine et l'ATP.

#### Pistes d'exploitation

**1.** Figure A. Quel est l'objectif de l'inactivation de l'un ou de tous les gènes *kai* dans cette expérience ? Quel est l'intérêt de mesurer l'intensité de fluorescence chez les Cyanobactéries WT ? Que pouvez-vous déduire des résultats obtenus pour les différentes souches de Cyanobactéries ? Formulez une (des) hypothèse(s) concernant les protéines KaiA, B et C et leur intervention.

- Figure B. Quel est l'intérêt des pistes 1 et 2 ? Interprétez la différence de hauteur des bandes, puis analysez les résultats des deux autres pistes.
- Figure C. Rappelez ce qu'est la technique SDS-PAGE et les conditions dans lesquelles ont été réalisées l'incubation et l'électrophorèse. Indiquez l'intérêt des pistes n°1 et 4. Quelle(s) hypothèse(s) pouvez-vous formuler sur le rôle de KaiA ?
- Figure D. Sachant que S431 est une sérine en 431<sup>e</sup> position de la chaîne polypeptidique, quel type de liaison pourrait s'établir entre ce résidu et l'ATP ? Ce type de liaison confirme-t-il ou non votre hypothèse de la question précédente ? Sinon formulez une nouvelle hypothèse sur le rôle de KaiA. Comment la protéine KaiC peut-elle retourner dans un état non phosphorylé ?
- À partir des conclusions précédentes, réalisez un schéma récapitulatif du fonctionnement moléculaire de l'horloge circadienne des Cyanobactéries.

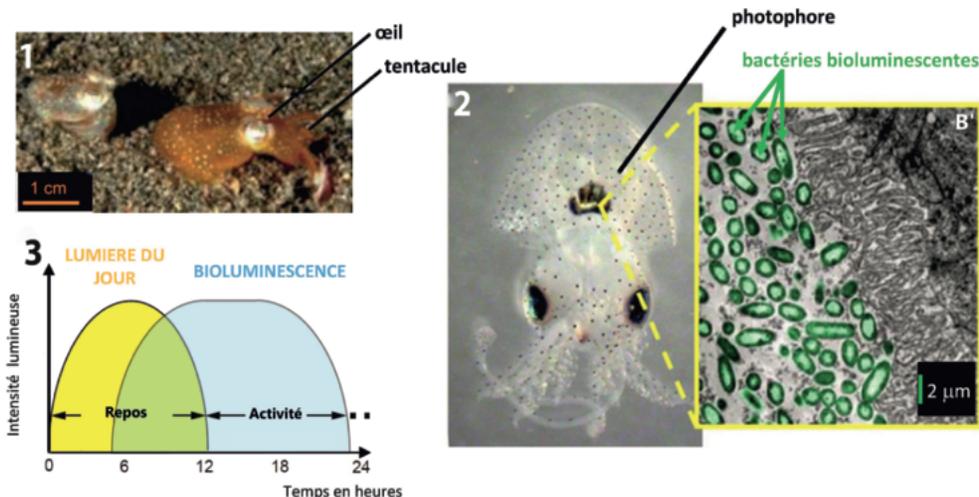
90 min.

### EXERCICE 3 Symbiose Calamar/bactéries fluorescentes

*Euprymna scolopes* est un petit Calamar vivant dans les eaux de l'océan Pacifique. C'est une espèce côtière, qui vit dans des eaux claires et peu profondes. Il vit enfoui dans le sable la journée et chasse la nuit. *Euprymna scolopes* est par ailleurs un organisme modèle en biologie pour l'étude des relations symbiotiques entre animaux et bactéries.

*Euprymna scolopes* vit en symbiose avec des bactéries bioluminescentes (*Vibrio fischeri*), qui occupent un organe dit photophore présent sur sa face ventrale. Lors de ses sorties nocturnes, la lumière émise par les bactéries dans le photophore permet au Calamar de dissimuler son ombre aux prédateurs plus bas, en produisant exactement autant de lumière en dessous de son corps que de lumière reçue par le dessus. En retour, les bactéries dans le photophore sont protégées et nourries par leur hôte.

L'étude porte ici sur le rythme circadien (le rythme jour - nuit) d'*Euprymna scolopes* et la question est de savoir si les bactéries lumineuses du Calamar sont impliquées dans le contrôle de cette horloge biologique.

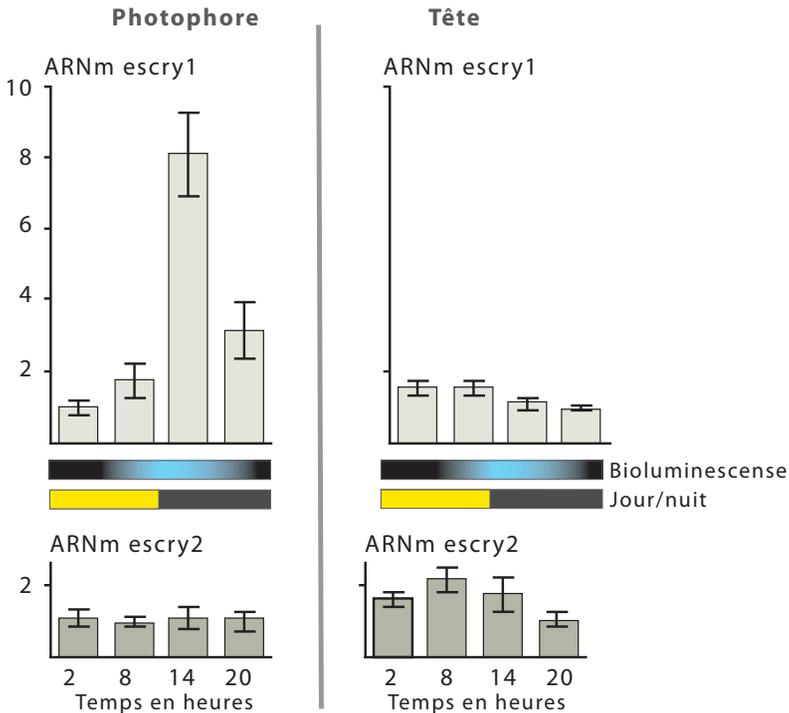


**Figure A.** La morphologie d'*Euprymna scolopes* et son rythme biologique. 1. *Euprymna scolopes* le jour, dans le sable. B. *Euprymna scolopes* avec son photophore en position ventrale. 2 : Grossissement d'une partie du photophore, en coupe. 3. Les périodes de repos et d'activité du Calamar en fonction de la lumière du jour et de la période d'émission de lumière par les bactéries lumineuses.

### Piste d'exploitation

**1.** À partir des résultats obtenus, quelle corrélation peut-on établir entre l'activité bactérienne et le rythme circadien du Calamar ? Quelles hypothèses proposez-vous pour expliquer le profil de bioluminescence ?

Les protéines cryptochromes cry sont connues pour contrôler les rythmes circadiens dans une grande majorité d'organismes. Les cellules d'*Euprymna scolopes* possèdent deux gènes, *escry 1* et *escry 2*, qui codent ces protéines. Les quantités d'ARNm *escry1* (à gauche de la figure) et *escry2* (à droite de la figure) sont évaluées au cours du temps.



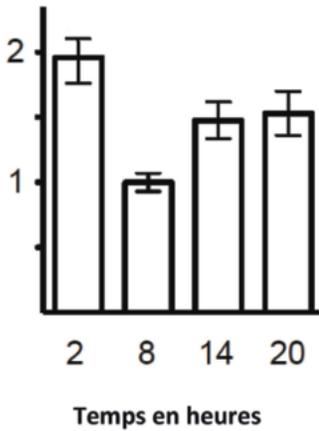
**Figure B.** Les quantités d'ARNm *escry1* (en haut de la figure) et *escry2* (en bas de la figure) évaluées au cours du temps dans l'organe lumineux (photophore) de l'animal et dans sa tête, en unité relative. La barre jaune et noir représente le cycle du jour (en jaune) et de la nuit (en noir). La barre bleue et noire indique la bioluminescence au cours de 24h (le bleu indique la période de bioluminescence et le noir son absence).

### Piste d'exploitation

**2.** Comparez la quantité d'ARNm *escry1* au cours du temps dans le photophore et dans la tête et concluez. Comparez ensuite les résultats entre *escry1* et *escry2*.

Un traitement antibiotique adéquat a permis d'obtenir et d'élever des *Euprymna scolopes* complètement dépourvus de bactéries symbiotiques, dans un environnement naturel avec une alternance jour et nuit. Un résultat très similaire est obtenu en réalisant le même traitement antibiotique puis en inoculant une souche bactérienne de *Vibrio fischeri* mutée, incapable de produire de la bioluminescence.

ARNm *escry1*

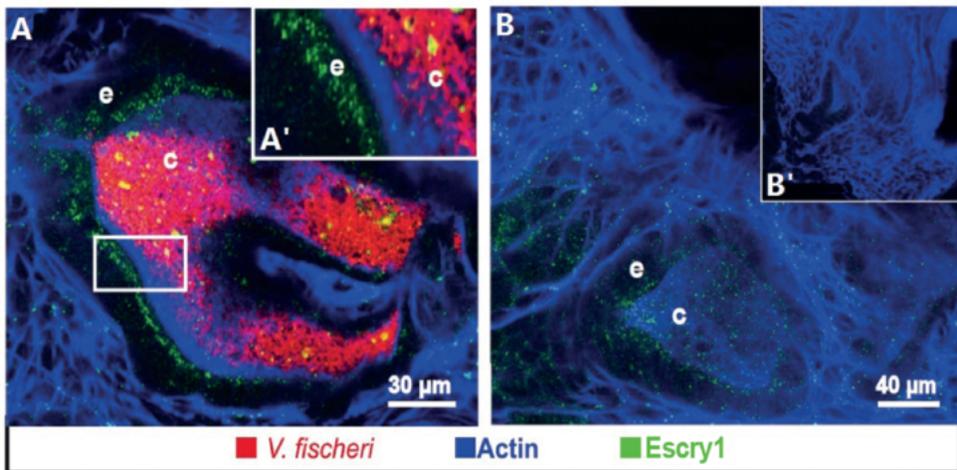


**Figure C.** La quantification des ARNm *escry1* réalisée au niveau du photophore chez *Euprymna scolopes* complètement dépourvu de bactéries symbiotiques, en unités arbitraires.

Piste d'exploitation

**3.** Analysez les résultats présentés dans la Figure C et comparez-les avec ceux présentés dans la Figure B (les deux expériences ont été faites dans les mêmes conditions environnementales). Que déduisez-vous de l'expérience complémentaire réalisée avec une souche bactérienne mutée? Quelle expérience complémentaire pourrait-on réaliser pour préciser le phénomène mis en évidence ?

La production de la protéine Escry1 est suivie par immunocytochimie en réalisant des coupes de photophore d'*Euprymna scolopes*, normaux ou traités préalablement par des antibiotiques, et en utilisant des anticorps dirigés contre la protéine Escry1 et des seconds anticorps rendus fluorescents grâce à la fluorescéine (molécule fluorescente verte). Parallèlement on marque des bactéries luminescentes (*Vibrio fischeri*) en rouge et l'actine (protéine du cytosquelette, ubiquitaire dans les cellules eucaryotes et absente chez les bactéries) en bleu.



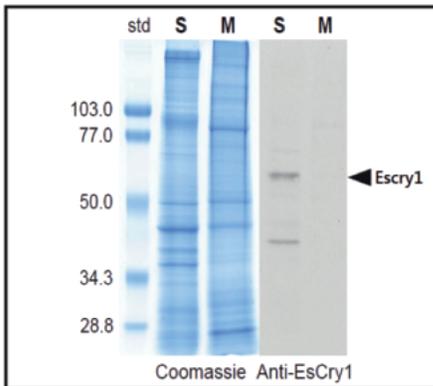
**Figure D.** La localisation de bactéries *Vibrio fischeri*, d'actine et de protéine Escry1 dans le photophore.

e : les cellules épithéliales qui bordent l'espace libre (la lumière) interne du photophore ; c : lumière du photophore aussi appelée crypte. A : coupe de photophore. En encadré : la région où la fluorescence a été observée. Les bactéries (*V. fischeri*) en rouge ; l'actine en bleu ; Escry1 en vert A' : zoom du cliché A dans la région encadrée. B : utilisation des mêmes anticorps sur une coupe de photophore de Calamar après traitement antibiotique d'*Euprymna scolopes*. L'encadré B' montre une partie de la coupe sur laquelle seuls les seconds anticorps liés à la fluorescéine ont été testés.

### Pistes d'exploitation

4. Analysez les résultats obtenus sur les clichés A, A' et B. Quel est l'intérêt du cliché B' ? Cette étude confirme-t-elle les résultats précédents (Figures B et C) ? Quel est l'apport de l'immunocytochimie par rapport aux études précédentes ?

Les protéines totales sont extraites d'un broyat cellulaire de photophore de Calamar, puis séparées en deux fractions : une fraction hydrosoluble (S) et une fraction membranaire (M).

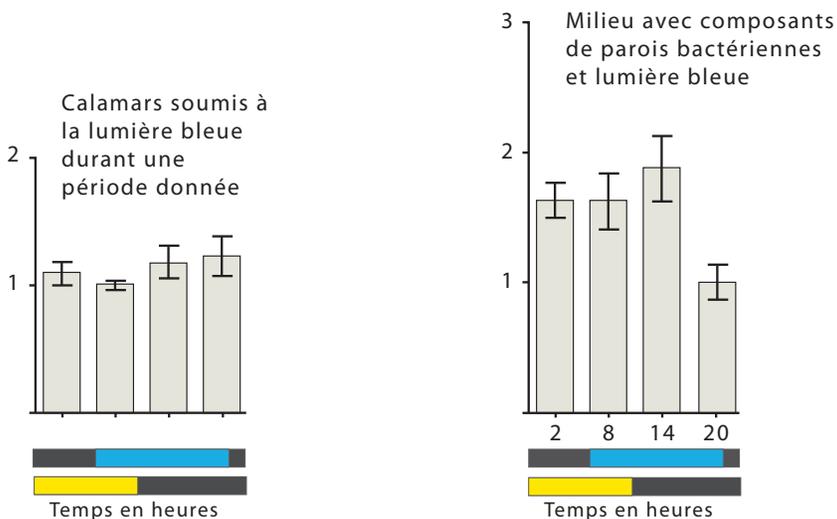


**Figure E.** Résultats d'électrophorèse et Western-blot après séparation des protéines du broyat cellulaire en deux fractions : soluble (S) et membranaire (M). Le Western-blot est effectué, à l'aide d'anticorps anti-Escry1. std = marqueur de poids moléculaire.

### Piste d'exploitation

5. Expliquez succinctement comment est réalisé un Western-blot. Quelles pistes correspondent au Western-blot ? Justifiez votre réponse. Précisez à quoi correspondent les bandes bleues. Quelles sont les différentes caractéristiques de la protéine Escry1 qui sont révélées ici ? La protéine Escry1 est repérée par une flèche sur le côté droit. Comment interprétez-vous la bande plus basse ?

Des Calamars dépourvus de bactéries sont soumis durant une période donnée à de la lumière bleue (lumière émise lors de la bioluminescence). D'autres Calamars sont placés dans un milieu avec des composants de parois bactériennes et soumis en même temps à de la lumière bleue.

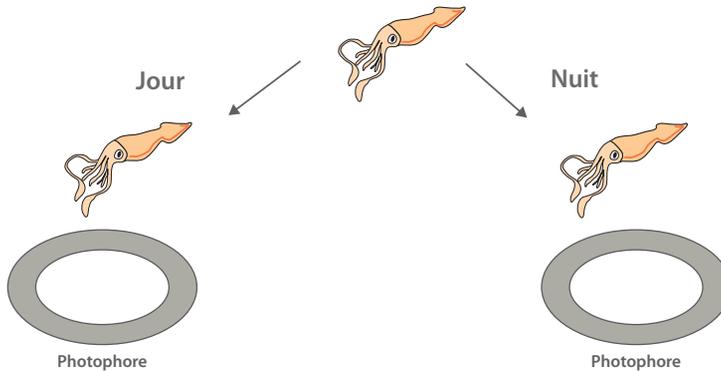


**Figure F.** Les graphes indiquent la quantité relative d'ARNm d'escry1 durant ces différents tests.

### Pistes d'exploitation

6. Interprétez ces deux graphes.

7. Proposez un modèle intégrant les différents liens entre les bactéries lumineuses du Calamar et la production de protéine Escry1. Complétez pour cela le schéma ci-dessous pour montrer ces liens.



## S'entraîner pour l'oral de sujet de synthèse

**ORAL 1** La diversité des unicellulaires.

**ORAL 2** L'importance biologique des unicellulaires dans l'écosystème prairie pâturée.

### Autres sujets possibles (non traités)

- Les unicellulaires, des cellules pluripotentes.
- La nutrition des unicellulaires.
- Les unicellulaires symbiotiques.
- Les unicellulaires parasites.
- La diversité des modes de vie des unicellulaires.
- Les unicellulaires dans l'histoire du vivant.
- Qu'est-ce qu'une algue ?
- La nutrition des unicellulaires.
- La reproduction des unicellulaires.
- La fonction relation chez les unicellulaires.

# CORRIGÉS

## QCM D'AUTO-ÉVALUATION

1. b-c. Les diatomées, les Cyanobactéries et *Chlamydomonas* des organismes unicellulaires photosynthétiques. Ils sont autotrophes car ils élaborent leur matière organique à partir de matière minérale et d'énergie prélevées dans leur environnement. Ils sont aussi photolithotrophes car la source d'énergie est la lumière, tandis que la source d'électrons est une molécule minérale ( $H_2O$ ).
2. d-e. Les levures sont des Eucaryotes unicellulaires car leur cellule unique est compartimentée avec un noyau. Plus précisément des champignons absorbotrophes, car elles absorbent les nutriments présents dans le milieu extérieur à travers leur membrane plasmique et leur paroi chitineuse.
3. b. *Rhizobium*, *E. coli* sont deux bactéries GRAM -. *Rhizobium* vit exclusivement en symbiose avec certaines Fabacées, alors que *E. coli* peut vivre libre dans les sols humides ou en symbiose dans l'intestin des Mammifères.
4. b-c. *Saccharomyces cerevisiae*, ou levure de boulanger ou levure de bière, respire en aérobie (en présence d' $O_2$ ) grâce à ses mitochondries fonctionnelles. En anaérobie (en absence d' $O_2$ ) elle réalise une fermentation alcoolique dans son cytosol. La fermentation lactique est réalisée par les Bactéries lactiques, par *E. coli* et notamment les cellules musculaires striées squelettiques.
5. b. Le trypanosome est un unicellulaire parasite dont l'hôte principal est l'être humain et le vecteur (hôte intermédiaire) est la glossine (mouche tsé-tsé). C'est un parasite extracellulaire qui se déplace activement dans le sang et le liquide céphalorachidien.
6. c-e. Dans l'opéron lactose, le répresseur Lac I se fixe sur l'opérateur en absence de lactose. En absence de glucose et en présence de lactose, le départ de Lac I et la fixation de CAP entraînent l'expression maximale des gènes Lac Z, Y et A. L'opéron lactose est sous contrôle négatif, par le répresseur Lac I qui se fixe sur l'opérateur en absence de lactose, et sous contrôle positif par l'activateur CAP qui n'agit qu'en absence de glucose.

## EXERCICE 1

1. Du point de vue environnemental, ce type d'étude permet d'ajuster la concentration de fluor efficace sur les bactéries, peut-être en le réduisant par rapport aux préconisations actuellement en vigueur. Si on connaît les mécanismes d'action du fluor, on pourra aussi envisager un éventuel remplacement pour cesser de déverser du fluor dans les eaux usées, ce qui n'est certainement pas sans conséquence pour l'écosystème aquatique. Du point de vue de la santé publique, si ce type d'études montre que le fluor est l'agent actif de prévention des caries (et non les autres composants du dentifrice au l'action mécanique), il conviendra de mettre en place des campagnes de prévention pour rappeler le rôle essentiel du fluor à tout âge.
2. Les deux espèces de streptocoques provoquant des caries sont sensibles au fluor, qui les tue à partir d'une concentration de 125 ppm. *S. mutans* semble un peu plus résistante que *S. sanguinis* car la population de *S. sanguinis* est totalement détruite avec 500 ppm de fluor, alors qu'il reste quelques bactéries *S. mutans* survivantes à cette concentration. La réponse est dose-dépendante.
3. Comme la présence d'un biofilm réduit l'action bactéricide de nombreuses molécules, on peut s'attendre à ce que les mortalités constatées en boîte de Petri soient supérieures à celle observées en biofilm. [D'où l'intérêt de se brosser les dents, car l'action mécanique fragmente le biofilm].

4. En absence de fluor, *S. mutans* produit plus de polysaccharides extracellulaires que *S. sanguinis*, mais elles forment toutes deux un biofilm continu et dense. Après l'ajout de fluor on observe une réduction de la densité bactérienne pour *S. sanguinis*, mais le biofilm persiste. Au contraire, plus de la moitié de la surface n'est pas occupée par les bactéries *S. mutans*, probablement détruites par le fluor. Les résultats sont assez similaires à ceux obtenus en boîte de Petri ave 125 ppm de fluor, où la mortalité de *S mutans* est de 50 % environ et celle de *S. sanguins* de quelques pourcents seulement. Ici l'existence d'un biofilm ne semble pas conférer une résistance au fluor accrue des bactéries.
5. Il peut y avoir une synergie entre les différentes espèces de bactéries. Par exemple, les métabolites produits par l'une peuvent profiter à l'autre. De plus certaines bactéries modifient le pH, ce qui peut avoir des conséquences sur les autres. On peut aussi avoir des interactions négatives comme de la compétition. La mortalité étudiée sur une espèce isolée n'est donc pas forcément représentative de la réalité.
6. On pourrait prélever de la plaque dentaire et la cultiver avant de faire agir le fluor sur elle. La difficulté est qu'on ne pourra pas séparer les effets sur chaque espèce de bactéries. On aura un bon test de l'efficacité du fluor, mais on n'aura pas accès aux mécanismes moléculaires.

## EXERCICE 2

1. L'obtention de Cyanobactéries émettant une fluorescence cyclique (pics de lumières toutes les 24h) permet aux chercheurs de suivre facilement et précisément le fonctionnement de l'horloge interne bactérienne (quantification de l'intensité lumineuse) et permet de rendre compte des dysfonctionnements qu'elle peut rencontrer. Dès qu'une des trois protéines Kai (ou les trois) vient à manquer dans les Cyanobactéries, on constate une absence de périodicité dans l'émission de fluorescence : ces protéines sont donc bien impliquées dans le fonctionnement de cette horloge interne.

On peut supposer que les protéines Kai agissent indépendamment les unes des autres ou en étant associées entre elles ou successivement.

2. La piste 1 révèle la présence de la protéine KaiA (seule ou dimérisée/oligomérisée) ; elle sert de témoin pour cette protéine. De même la piste 2 révèle la présence de la protéine KaiC et sert de témoin. On constate que la quantité chargée sur le gel est moins importante que celle de KaiA (35 pM contre 10 pM) et que la bande est très au-dessus de celle de KaiA, on peut donc faire l'hypothèse que le poids moléculaire de KaiC est plus élevé que celui de KaiA ou que les protéines KaiC ont pu interagir entre elles et former des complexes oligomériques plus encombrants que ceux de KaiA.

La piste 3 présente une bande plus haute que celle des pistes 1 et 2 ce qui montre une interaction entre KaiA et KaiC, donc la formation d'un complexe plus encombrant que les deux protéines prises séparément. La migration est donc moins importante que dans les pistes 1 et 2 : il y a un retard sur gel.

La bande grise sous la bande noire bien visible peut être interprétée comme la formation de complexes intermédiaires (complexes constitués d'un nombre variable de protéines KaiA et KaiC). Le complexe correspondant à la bande noire n'est certainement pas l'association simple d'une protéine KaiA et d'une protéine KaiC mais correspond à une stœchiométrie différente. Au niveau de KaiC et KaiA des bandes très fines sont visibles : il s'agit de protéines qui sont restées isolées.

Le profil de la piste 4 est le même que celui de la piste 3, donc l'interprétation est la même. On remarque cependant une bande plus nette au niveau de KaiA, ce qui signifie qu'une plus grande quantité de protéines KaiA ne se sont pas associées à KaiC, possiblement par saturation des sites de liaison sur KaiC.

**3.** Le SDS-PAGE est une électrophorèse sur gel de polyacrylamide, en ajoutant aux échantillons le détergent SDS : il s'agit donc d'une électrophorèse en conditions dénaturantes non réductrices. La piste 1 révèle peu/pas de bande. KaiC est peu ou pas radioactive, donc elle n'est pas phosphorylée dans ces conditions. Il s'agit d'un témoin négatif.

La piste 4 possède peu/pas de bande visible : KaiC n'est pas phosphorylée avec la BSA, c'est-à-dire que KaiC n'est pas phosphorylée en présence de n'importe quelle protéine. Seule la piste 2 montre une bande radioactive qui met en évidence une interaction spécifique avec une autre protéine. Une bande à la hauteur de KaiC est surtout visible quand la solution comprend KaiA. On peut émettre l'hypothèse que KaiA est une kinase.

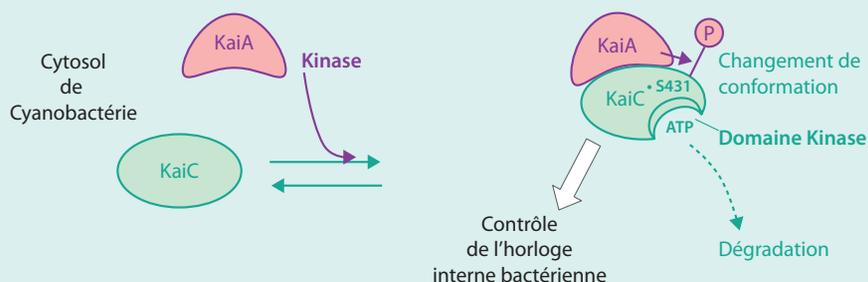
[Piste 3 : pas de phosphorylation de KaiC avec KaiB, donc si les deux protéines interagissent, ce n'est pas pour déclencher une activité de phosphorylation...mais rien ne dit qu'elles n'interagissent pas !]

**4.** La liaison avec la sérine est une liaison hydrogène. Les groupements phosphorylés sont chargés négativement et la sérine peut être chargée mais uniquement négativement, ce qui élimine aussi une liaison ionique.

Si KaiC lie l'ATP, on peut supposer qu'elle a elle-même une activité kinase, mais qui n'est déclenchée qu'en présence de KaiA. Hypothèse : KaiA induit un changement de conformation de KaiC et « l'accessibilité » de son domaine kinase.

Après la phosphorylation [et donc l'activation de KaiC] on peut supposer une déphosphorylation de la protéine (donc la nécessité de liaison avec une phosphatase) ou une dégradation [nécessité d'ubiquitination et dégradation par protéasome ?]

**5.**



### EXERCICE 3

**1.** L'activité du Calamar correspond au moment où il fait nuit et où la bioluminescence a atteint un maximum.

La bioluminescence étant l'émission de lumière par les bactéries du photophore (visibles en B'), pour comprendre son augmentation et le maximum obtenu, on peut émettre l'hypothèse d'une multiplication des bactéries ou d'une activation progressive du processus de bioluminescence parmi elles.

La diminution de cette bioluminescence est à mettre en rapport avec la mort des bactéries ou leur éjection du photophore ou encore le contrôle du processus de bioluminescence lui-même au sein de la colonie bactérienne.

**2.** Analyse d'escry1 : on enregistre des variations significatives de ces ARNm au cours d'un cycle circadien dans le photophore. La quantité est maximale (8 unités arbitraires) au moment du maximum de la bioluminescence, alors qu'elle inférieure à 4 lorsque la bioluminescence est plus faible ; les barres d'erreur ne se chevauchent pas. On peut penser que la bioluminescence a déclenché une augmentation de la production d'ARNm d'escry1 dans cet organe. Dans la tête, des variations de la quantité d'ARNm d'escry1 sont visibles mais sont faibles par rapport à celles du

photophore. L'hypothèse d'un déclenchement par la bioluminescence est donc plus probable. Analyse d'*escry2* : dans le photophore, les résultats obtenus présentent des barres d'erreurs qui se recouvrent. On ne peut donc pas dire qu'il y ait des différences significatives de cet ARNm au cours du temps. Dans la tête, les résultats présentent également des barres d'erreurs qui se chevauchent ou de faibles différences qui ne semblent pas liées au changement de lumière ou à l'apparition de bioluminescence.

Bilan : le gène *escry1*, qui code un cryptochrome connu pour contrôler le rythme circadien, est transcrit dans les cellules du Calamar du photophore lorsqu'il fait nuit et que la bioluminescence est maximale. Le gène *escry2* ne jouerait pas de rôle dans le contrôle du cycle circadien.

**3.** Le taux d'ARNm d'*escry1* obtenu dans un Calamar sans bactérie n'excède jamais 2 (unités arbitraires), alors que ce taux était autour de 8 en présence de bactéries luminescentes. Par ailleurs les variations observées ici ne sont pas du tout en lien avec l'alternance du jour et de la nuit, alors qu'elles l'étaient dans l'animal avec ses bactéries symbiotiques.

Les bactéries exercent donc un contrôle sur la production d'ARNm *escry1*.

Hypothèse : des signaux moléculaires bactériens sécrétés vers 14h par les bactéries luminescentes sont reçus par les cellules épithéliales adjacentes (dans le photophore) et déclenchent la production d'*Escry1*, ou la lumière bleue émise par les bactéries déclenche une voie de transduction de signal aboutissant à la surexpression d'*Escry1*.

L'expérience complémentaire nous apprend que les bactéries sans bioluminescence ne déclenchent pas la production d'*Escry 1*. La seconde hypothèse ci-dessus serait à retenir. Il faudrait justement une expérience complémentaire avec de la lumière bleue seule pour le montrer.

**4.** Cliché A : observation des bactéries (en rouge) dans la partie centrale du photophore au niveau de la crypte ; marquage *Escry1* en périphérie de la crypte, dans les cellules épithéliales qui bordent cette crypte. Le cliché A' montre clairement que les tissus périphériques présentent un marquage *Escry1* qui s'estompe avec la distance aux bactéries.

Cliché B : pas de marquage de bactéries, ce qui est cohérent avec le traitement antibiotique subi par l'animal. Marquage d'*Escry1* faible par rapport au cliché B, donc en l'absence de bactérie la production de cryptochrome est moindre, ce qui doit avoir des conséquences sur le contrôle du cycle circadien.

Cliché B' : absence de marquage en présence du second anticorps uniquement : la spécificité du marquage vert est à relier directement aux premiers anticorps et à la présence d'*Escry1*. Le cliché C' indique bien qu'il ne peut pas y avoir de faux positifs. C'est un témoin.

Cette étude confirme les précédentes : la production d'*Escry1* est sous la dépendance de la présence bactérienne.

L'immunocytochimie permet d'indiquer la localisation des bactéries et d'*Escry1*. La stimulation de la transcription, mise en évidence dans le document précédent, est corrélée à une production plus importante de protéines *Escry1* et ces protéines sont membranaires ou sécrétées par les cellules du photophore.

**5.** Un *Western-blot* correspond à un transfert de protéines sur un support papier (nitrocellulose), après que celles-ci aient subi une migration électrophorétique. Le changement de support facilite les manipulations, en particulier l'utilisation d'anticorps.

Les deux pistes de droite (en gris) correspondent au *Western-blot* : il nécessite l'utilisation d'anticorps spécifiques, il est donc normal que seule une bande ou deux apparaissent sur les pistes. En revanche, le bleu de Coomassie permet la détection de toutes les protéines hydrosolubles (S) ou membranaires (M).

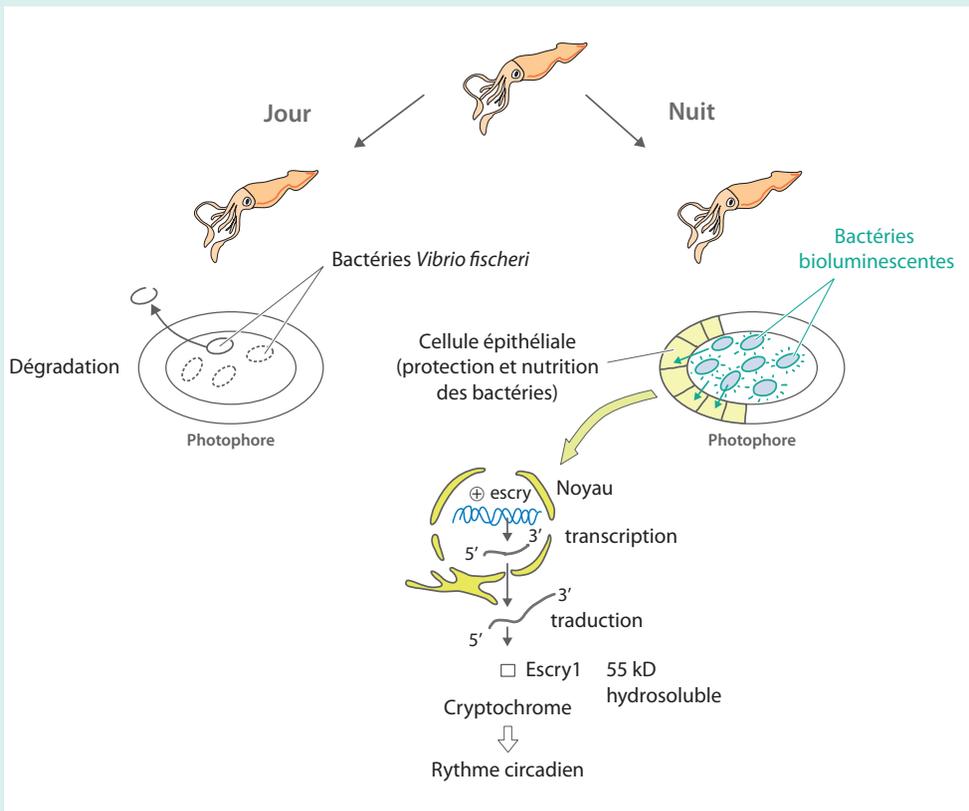
*Escry1* est visiblement une protéine de 55 kD environ. L'absence de bande liée à la fraction membranaire permet de compléter les conclusions du document précédent : *Escry1* est une protéine hydrosoluble sécrétée par les cellules du Calamar du photophore.

La bande la plus basse reconnue également par les anticorps correspond à une protéine de poids moléculaire plus faible, cela peut être un produit de dégradation.

6. Pour les Calamars sans bactérie et soumis à une lumière bleue, la production d'ARNm d'Escri1 reste relativement faible et ne montre pas de variation suivant le rythme circadien. Sans bactéries et soumis à une lumière bleue avec des composants de parois bactériennes : le taux d'ARNm d'escry1 augmente un peu. La lumière bleue est donc nécessaire mais pas suffisante (complément de la question 3). On peut imaginer l'intervention d'un message chimique supplémentaire en provenance des bactéries. Il y a nécessité d'un dialogue moléculaire entre les partenaires de la symbiose.

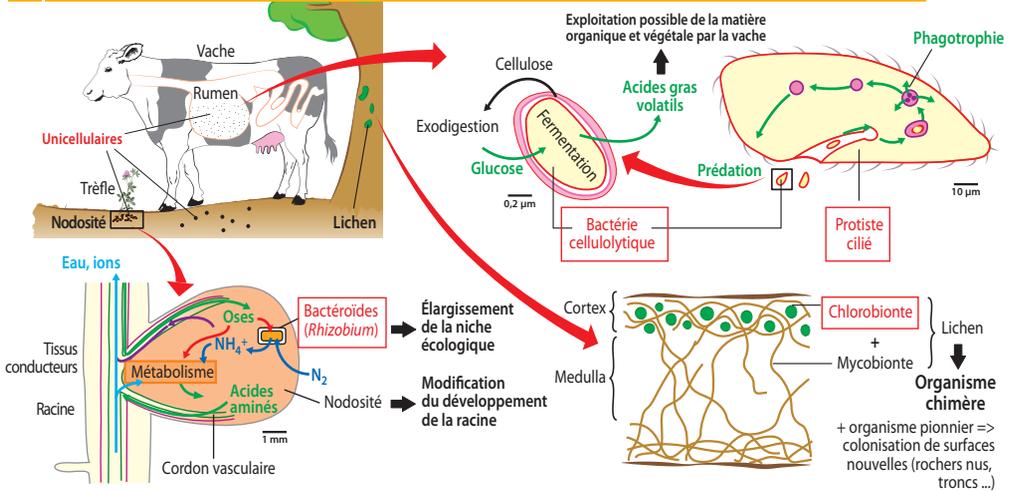
7.

Conditions expérimentales	Production d'Escri1 (→ cryptochrome → rythme circadien)
Calamars sans bactéries	non
Calamars avec bactéries non luminescentes	non
Calamars sans bactérie avec lumière bleue	non
Calamars sans bactérie avec lumière bleue et molécules de parois bactériennes	Augmentée mais non rythmée par l'alternance jour et nuit.

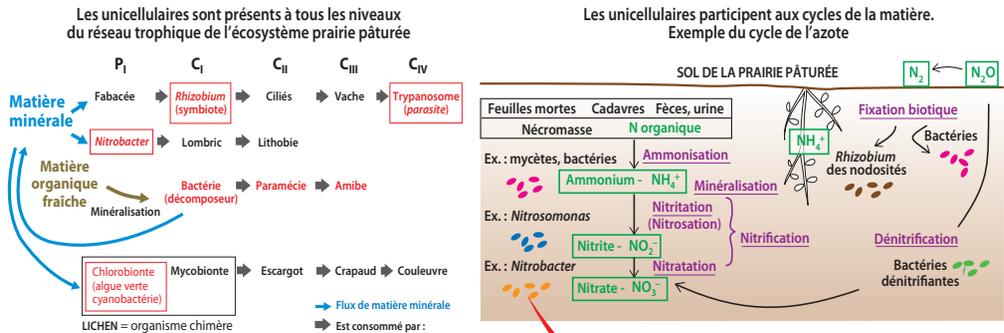




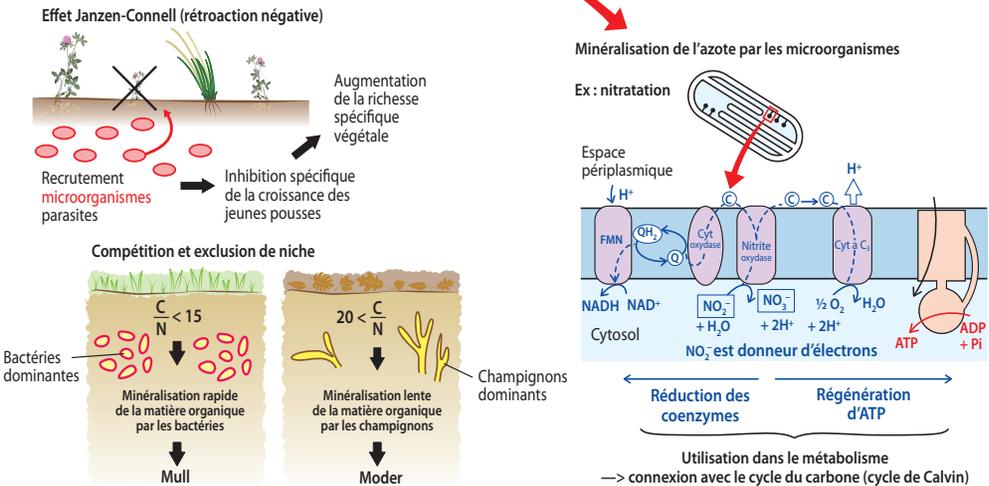
1 LES UNICELLULAIRES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ORGANISMES DE L'ÉCOSYSTÈME PRAIRIE PÂTURÉE



2 LES UNICELLULAIRES CONTRIBUENT AUX FLUX DE MATIÈRE ET D'ÉNERGIE DANS L'ÉCOSYSTÈME



3 LES UNICELLULAIRES PARTICIPENT À LA STRUCTURATION DE L'ÉCOSYSTÈME



# CHAPITRE 2

## Le développement post-embryonnaire des Angiospermes : adaptations et plasticité phénotypique

### Plan du chapitre

<b>Objectifs du programme</b> , p. 74	<input type="checkbox"/>
<b>Fiche remédiation</b> , p. 75	<input type="checkbox"/>
<b>Cours</b> , p. 76	<input type="checkbox"/>
1 ► Le développement végétatif post-embryonnaire d'une Angiosperme correspond à l'édification de l'axe racine-tige feuillée et son épaississement, p.76	<input type="checkbox"/>
2 ► L'appareil reproducteur se met en place à partir du méristème apical végétatif et sous contrôle de l'expression de gènes homéotiques, p. 85	<input type="checkbox"/>
3 ► Les Angiospermes sont des organismes à vie fixée dont le développement interfère étroitement avec les facteurs de l'environnement, p. 88	<input type="checkbox"/>
<b>Schéma-bilan</b> , p. 95	<input type="checkbox"/>
<b>TIPE. Un enjeu, un métier, une école</b> , p. 96	<input type="checkbox"/>
<b>Exercices d'application</b> , p. 98	<input type="checkbox"/>
<b>Corrigés détaillés</b> , p. 108	<input type="checkbox"/>

### Problématique

*Comment se réalise la croissance des Angiospermes ?*

*Quelles sont les modalités du développement végétatif à l'échelle cellulaire ?*

*Comment se met en place l'appareil reproducteur ?*

*Quels facteurs abiotiques et biotiques sont impliqués dans les variations morpho-anatomiques et physiologiques observées chez les Angiospermes ?*

#### Les 10 définitions à maîtriser

- Méristème apical
- Mèrese
- Auxèse
- Phytomère
- Phytohormone
- Gènes homéotiques
- Convergence évolutive
- Régression évolutive
- Accommodation
- Dialogue moléculaire



#### FLASHCARDS INTERACTIVES

Révisez les notions  
et soyez incollables !



[www.lienmini.fr/212983-FLASH-2](http://www.lienmini.fr/212983-FLASH-2)

## Principaux objectifs du programme

### SV-B-3 : Le développement post-embryonnaire des Angiospermes : adaptations et plasticité phénotypique

Savoirs visés	Capacités exigibles
<p>Les zones apicales comprennent des zones de mèresè et d'auxèse. Elles contribuent à édifier l'axe racine-tige feuillée. Le méristème apical caulinaire est organogène et histogène. Son fonctionnement met en place une succession de phytomères et détermine la position des différents organes aériens.</p> <p>Les cellules issues de la mèresè subissent l'auxèse, contrôlée par l'auxine. Cette phytohormone provoque l'augmentation de la plasticité pariétale, l'accroissement du volume cellulaire puis la mise en place de nouveaux composants pariétaux.</p> <p>Les voies de différenciation cellulaire génèrent une diversité de contenus cytoplasmiques et de compositions de parois.</p> <p>Les méristèmes secondaires se forment au sein des structures primaires. Le cambium produit des tissus secondaires (bois et liber) épaississant l'organe dans lequel ils se développent.</p> <p>Le développement reproductif correspond à la transition du méristème apical caulinaire en méristème reproducteur.</p> <p>Ce développement floral est notamment contrôlé par la combinaison d'expression de gènes homéotiques (modèle ABCDE).</p> <p>Les Angiospermes présentent des caractéristiques adaptatives en relation avec leur vie fixée en milieu terrestre.</p> <p>Certaines de ces adaptations témoignent de convergences évolutives entre taxons phylogénétiquement éloignés ou de régression évolutive.</p> <p>D'autres variations morpho-anatomo-physiologiques, dans une même espèce, dépendent du milieu, c'est l'accommodation.</p> <p>Des facteurs abiotiques comme les variations météorologiques influencent le développement végétatif (production saisonnière du bois) et/ou reproducteur (floraison). Des facteurs biotiques influent sur le développement de la plante et participent à sa nutrition (nodosités, mycorhizes). Un dialogue moléculaire entre la plante et un autre organisme permet la formation d'une structure chimérique impliquée dans la nutrition.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relier le fonctionnement du méristème apical caulinaire, avec le développement indéfini de la tige feuillée.</li> <li>- Exploiter des données expérimentales montrant le mode d'action à l'échelle cellulaire de l'auxine.</li> <li>- Comparer une cellule méristématique et une cellule différenciée (élément conducteur de xylème).</li> <li>- Exploiter des données afin de déterminer le caractère homéotique de certains gènes contrôlant l'identité des organes floraux.</li> <li>- Discuter, à partir d'exemples, des convergences ou des régressions évolutives liées à des caractéristiques morpho-anatomiques.</li> <li>- Différencier adaptation et accommodation et leur mécanisme d'origine.</li> <li>- Mettre en relation le développement indéfini de l'appareil végétatif avec un mécanisme d'accommodation : exemple des feuilles d'ombre et de lumière.</li> <li>- Exploiter des données pour montrer l'influence de la température (vernalisation) et de la lumière (photopériodisme) sur l'induction florale.</li> <li>- Présenter un modèle de contrôle épigénétique impliquant le gène FLC reliant les facteurs abiotiques et la floraison (organes percepteurs, relais hormonaux, gènes impliqués).</li> </ul>



#### PROGRAMME COMPLET

Téléchargez le programme complet



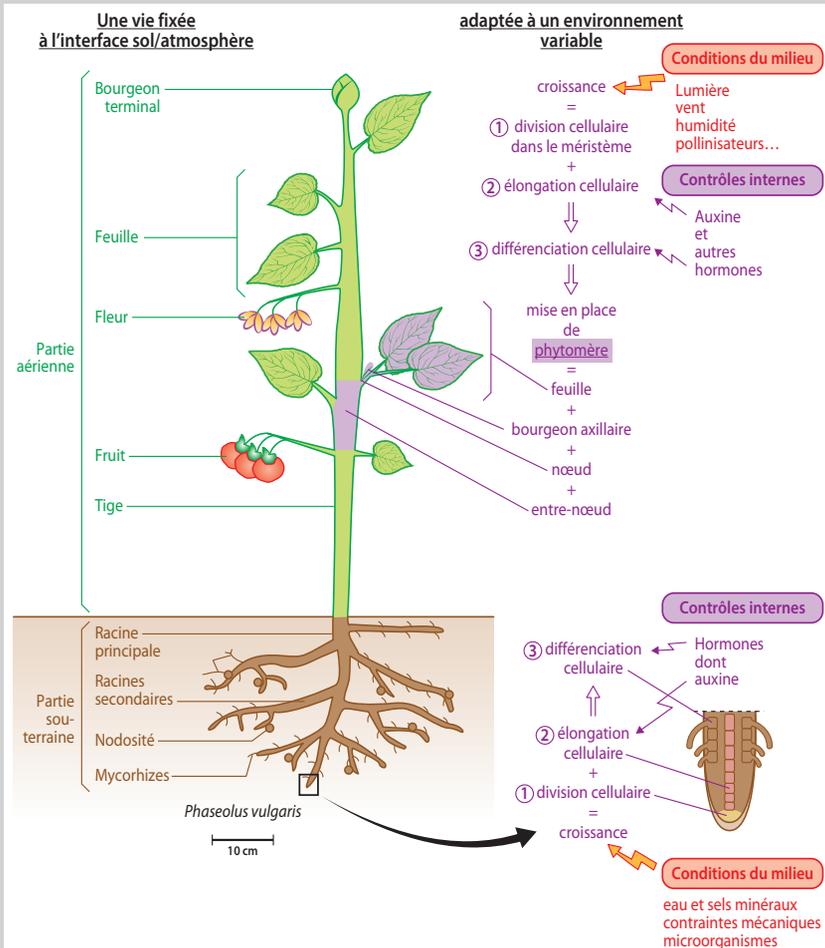
[www.lienmini.fr/212983-PROG](http://www.lienmini.fr/212983-PROG)

# FICHE REMÉDIATION

Le développement d'une Angiosperme repose sur la **croissance**, par **division mitotique et élongation cellulaire**, et sur la **différenciation cellulaire**. Ce développement permet la mise en place dans une tige feuillée d'une succession de modules, les **phytomères**, composés d'une portion de tige, d'une feuille et d'un bourgeon axillaire.

La multiplication cellulaire se réalise dans les **méristèmes apicaux des tiges et racines**. Les cellules qui en sont issues subissent une croissance en longueur sous le contrôle de **l'auxine, une hormone végétale**, avant de rentrer dans une des voies de différenciation.

Le développement d'une Angiosperme est donc **contrôlé par des facteurs internes**, les phytohormones, et il est également **influencé par les conditions de milieu (température, lumière, gravité, vent...)**. Ainsi, l'étude de la morphogenèse des plantes montre leur capacité d'adaptation à la vie fixée à l'interface sol/atmosphère, dans des environnements variables.



► Le développement d'une Angiosperme.

# COURS

Les Angiospermes présentent une vie fixée à l'interface entre le sol et l'air. Leur développement post-embryonnaire correspond à la mise en place d'un appareil végétatif puis à l'apparition d'un appareil reproducteur. La formation de ces structures est sans cesse sous la dépendance des facteurs biotiques comme abiotiques du milieu.

## 1 Le développement végétatif post-embryonnaire d'une Angiosperme correspond à l'édification de l'axe racine-tige feuillée et son épaississement

Le **développement** d'un organisme consiste en sa **croissance**, c'est-à-dire son augmentation de taille, et en l'acquisition de ses **caractéristiques physiologiques** (développement au sens strict). Une Angiosperme commence son développement **post-embryonnaire** au moment de sa germination, quand la graine germe et que la plantule se dégage de ses téguments. Elle présente alors principalement une croissance en longueur.

### 1.1. Une Angiosperme croît en longueur par des zones apicales

1.1.1. Les zones de croissance apicales sont des lieux d'activité mitotique et de croissance cellulaire

Des marques équidistantes tracées à l'encre de Chine sur la jeune racine ou sur la jeune tige permettent de mettre en évidence des lieux de croissance, en observant l'éloignement de ces marques les unes des autres, au cours du temps. Ces éloignements sont le résultat de deux processus :

- une intense activité de division, ou **mérèse**, dans les zones apicales appelées **méristèmes primaires**. Elles peuvent être mises en évidence, à l'échelle cellulaire, par l'incorporation de précurseur radioactif d'ADN (témoignant de réplication précédant chaque division) ;
- une élongation cellulaire, ou **auxèse**, dans une zone adjacente plus éloignée de l'apex. Dans une racine, la zone d'auxèse est en arrière du méristème primaire racinaire : **l'élongation est sub-apicale**. Dans une jeune tige, la zone d'élongation se retrouve également en arrière du méristème primaire caulinaire, mais elle est aussi localisée entre deux nœuds : **l'élongation est intercalaire**.

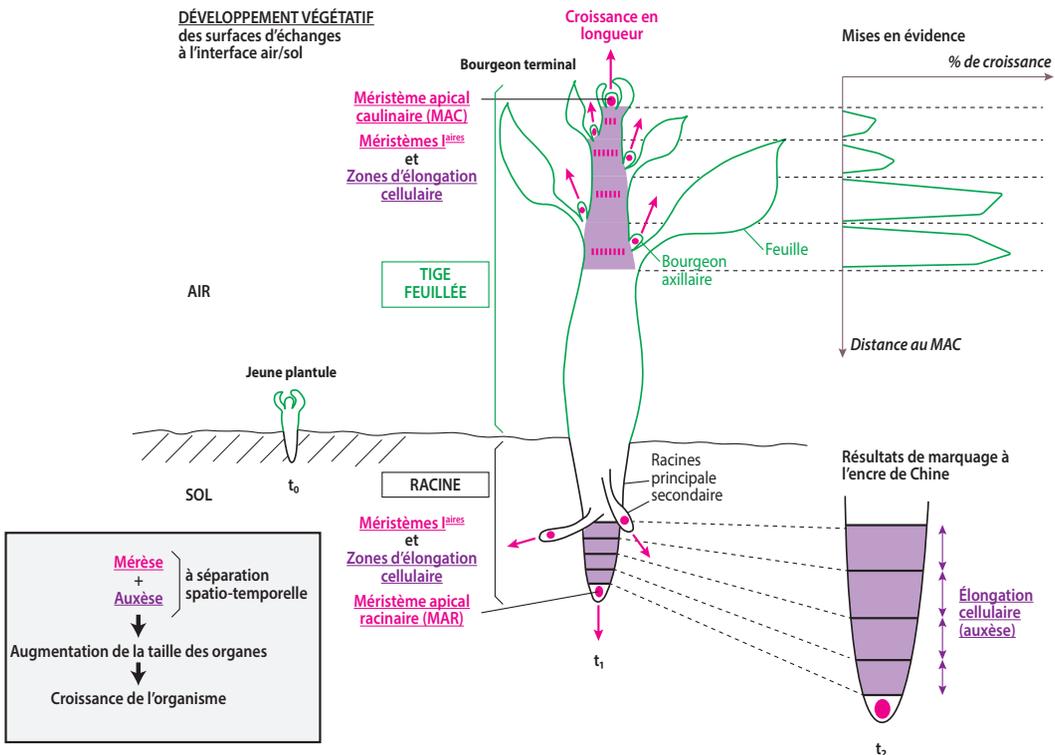


#### Attention !

Selon les entre-nœuds en croissance, on obtient des ports différents chez les Angiospermes. Chez les plantes herbacées, les entre-nœuds proches du sommet de la tige sont le lieu de la croissance. Chez les plantes ligneuses (arbres, arbustes, etc.), ce sont les entre-nœuds éloignés de l'apex caulinaire qui sont le lieu de la croissance au printemps. Chez certaines Angiospermes, comme la laitue, le pissenlit ou *Arabidopsis thaliana* (pour les premières feuilles), la croissance des entre-nœuds est quasi nulle et ces plantes ont une forme en rosette.

Quand des ramifications apparaissent, chaque rameau porte à son extrémité un **méristème apical caulinaire** protégé dans un **bourgeon terminal**.

Un **méristème** est un tissu végétal indifférencié, lieu de production de toutes les cellules qui, par la suite, s'allongent et se différencient. Un méristème primaire permet ainsi la production de nouveaux tissus (parenchymes, tissus conducteurs, épidermes,...) : il est donc **histogène**. Le **méristème apical racinaire** une fois apparu, crée un seul type d'organe : des racines tandis que le méristème apical caulinaire donne naissance à plusieurs types d'organes : feuilles, tiges et bourgeons. Le **méristème primaire** caulinaire est donc, en plus, **organogène**. La **croissance en longueur** des **tiges** et des **racines** est **indéfinie** (illimitée) grâce aux méristèmes racinaire, caulinaire et intercalaire, en revanche les **feuilles** ont une croissance **définie** (limitée).



► **Figure 2.1.** La localisation des méristèmes dans une Angiosperme.

### 1.1.2. Le méristème apical caulinaire (MAC) est un lieu de mérése hautement organisé

Des coupes longitudinales effectuées à l'apex d'une tige et l'évaluation de la prolifération cellulaire par des méthodes d'incorporation de thymidine radioactive par exemple, nous montrent **différentes zones suivant l'intensité des mitoses** :

- la **zone centrale (ZC) ou zone axiale**, où les divisions sont rares, est qualifiée de zone quiescente ou méristème d'attente car cette zone est « en attente » du développement reproducteur. Elle devient active lors de la transformation en méristème floral.
- la **zone (ou méristème) médullaire (ZM)**, où les mitoses sont assez nombreuses, produit les tissus internes de la tige, dont la moelle. Ses potentialités sont strictement **histogènes**.
- la **zone périphérique (ZP ou zone latérale ou anneau initial)** montre le taux de mitoses le plus élevé. Elle est à l'origine de la partie périphérique de la tige, des feuilles et des bourgeons axillaires : c'est un territoire à la fois **histogène** et **organogène**. Ce méristème fonctionne de façon périodique ou « plastochronique », le **plastochrone** étant défini comme le temps nécessaire entre l'initialisation de deux feuilles successives.

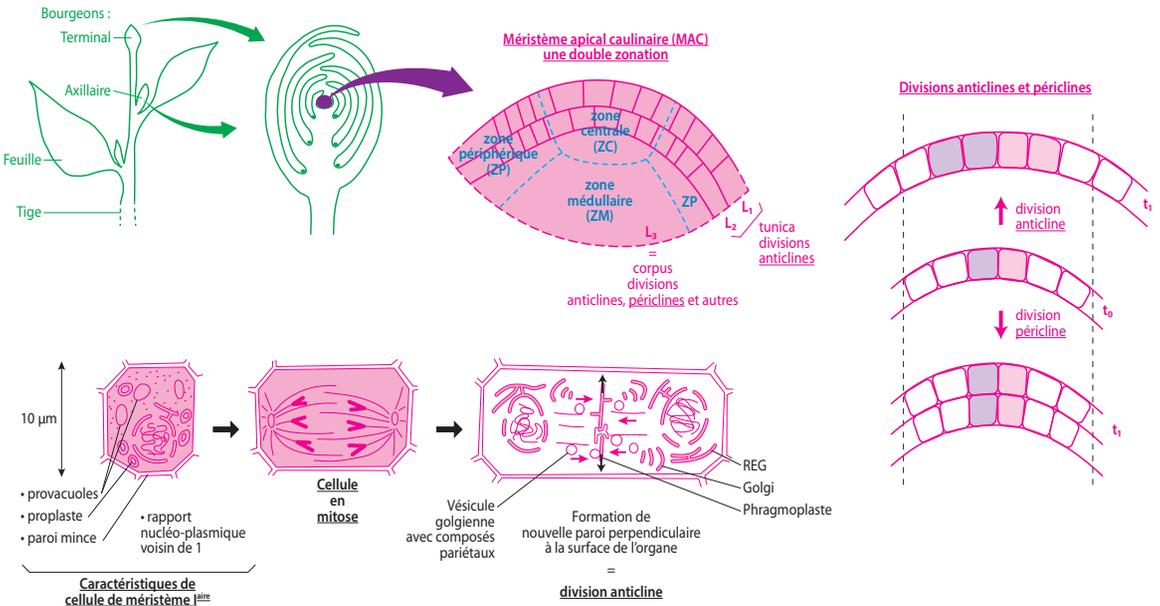
À cette zonation se superpose une organisation en couches cellulaires, **suivant l'orientation des plans de division** des cellules de chaque zone :

- en surface du MAC, les couches L1 et L2 de la **tunica** (L, pour *layer*) correspondent aux **couches de cellules à division anticlines** (perpendiculaires à la surface de l'organe). Ces divisions augmentent la surface de l'organe. Les cellules qui apparaissent sont à l'origine de différents tissus (l'épiderme et les tissus sous-épidermiques (le mésophylle) des feuilles et de la tige), ainsi que du bourgeon axillaire.
- plus en profondeur, les couches L3 forment le **corpus** correspondant à une masse de cellules centrales qui se divisent dans **différents plans dont des divisions péricleines** (parallèles à la surface de l'organe). Ces divisions augmentent le volume de l'organe. Les cellules qui apparaissent forment les tissus conducteurs et le parenchyme médullaire de la tige.

Le MAC est donc un territoire très organisé mais aussi très dynamique, traversé par un flux de cellules incessant depuis les zones de mèresse vers la périphérie.

L'orientation des plans de division des cellules méristématiques les confine au sein de « territoires » précis et les engage dans un devenir particulier : **l'information de position** des cellules gouverne leur détermination.

La mise en place, le maintien de la taille du MAC et de sa régionalisation sont contrôlés par des gènes dont l'expression spatio-temporelle est elle-même auto-réglée.



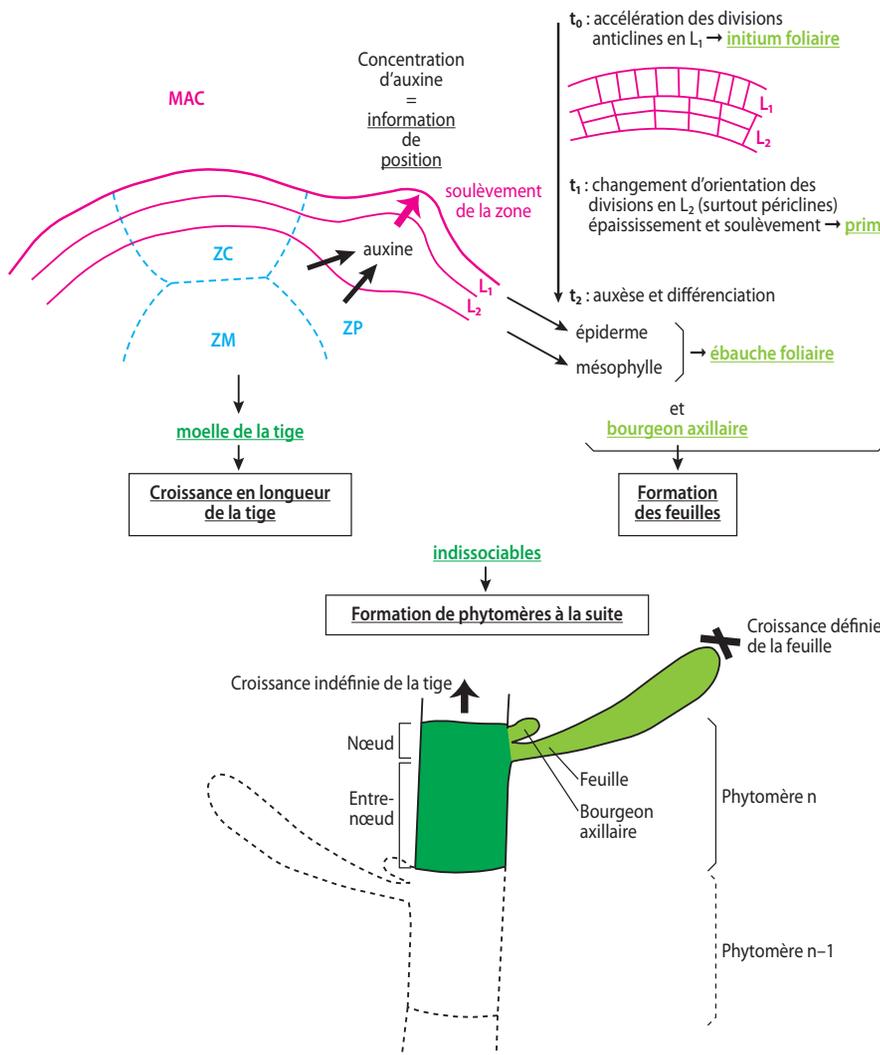
► **Figure 2.2.** L'organisation du MAC et les modalités de la mèresse.

### 1.1.3. Le fonctionnement du MAC détermine la position des organes aériens

L'aire de la ZC du MAC ne varie pas au cours du temps, en revanche la taille et la forme de la ZP varient en lien avec la formation **d'initium foliaire**. Ce premier stade de formation de feuille apparaît suite à une intense activité mitotique de la région de la ZP dans laquelle est concentrée une hormone végétale, l'**auxine**.

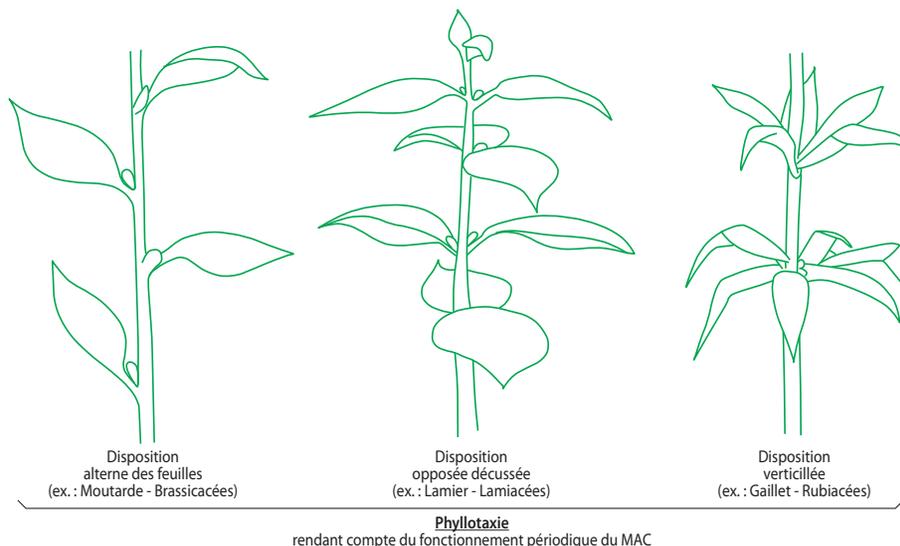
Il se met en place un **primordium foliaire**. Les divisions anticlines de la couche L1 s'intensifient tandis que certaines cellules de L2 montrent des divisions périclines aboutissant à un soulèvement de la zone. Le primordium foliaire s'étend par une série de mitoses contrôlées. La mères et l'auxèse sont limitées dans le temps et l'espace dans la feuille en développement ce qui détermine la croissance définie de cet organe.

Sous un nouveau primordium foliaire (ou plusieurs, dans le cas d'un **verticille** de feuilles), un allongement par auxèse des cellules de ZP repousse le MAC vers le haut créant ainsi un nouvel **entre-nœud**, séparant les deux dernières feuilles apparues. Parallèlement, à l'aisselle du primordium, apparaît, à partir de la ZP, un nouveau bourgeon axillaire, tandis que la ZM poursuit la formation de la moelle. Ensemble, ces différentes pièces (feuille, bourgeon axillaire, et entre-nœud) forment un **phytomère**. La tige correspond donc à une succession de phytomères.



► **Figure 2.3.** Le fonctionnement cyclique du MAC et la formation itérative de phytomères.

Suivant les espèces, la disposition des feuilles sur la tige, la **phyllotaxie**, n'est pas la même. Cette variabilité sous-entend qu'une ou plusieurs feuilles peuvent apparaître à un même niveau de la tige (appelé le nœud), d'où la disposition de feuilles alterne, opposée ou **verticillée**. Chacune de ces organisations est sous dépendance hormonale puisque chaque initium correspond à un puits de concentration d'auxine.



► **Figure 2.4.** La variabilité de la phyllotaxie.

## 1.2 L'auxèse est contrôlée par l'auxine

Une cellule fille, née par mitose, est limitée par une paroi primaire plastique dont les microfibrilles de cellulose présentent une orientation dictée par le cytosquelette sous membranaire de microtubules. Les microfibrilles sont souvent parallèles les unes aux autres.

Cette géométrie laisse la possibilité d'une élongation cellulaire unidirectionnelle, perpendiculaire à la direction des microfibrilles, si toutefois les composés pariétaux se dissocient : c'est le cas, sous l'action de **l'auxine**. L'auxine ou acide indole acétique (AIA) est une **phytohormone**, produite par les méristèmes primaires. Son rôle a pu être mis en évidence en particulier par des expériences réalisées sur de jeunes plantules de Poacées dont l'élongation cellulaire dans l'appareil caulinaire est mesurée grâce à un **auxanomètre**.

Exp	Protocole	Résultats	Interprétation
1	Des segments d'appareil caulinaire de soja sont placés dans l'auxanomètre et leur croissance en longueur est enregistrée au cours du temps. En bleu : le témoin. En noir : au moment indiqué par la flèche rouge, de l'auxine (AIA $10^{-5}$ mol.L <sup>-1</sup> ) est ajoutée dans le milieu.		L'action de l'auxine sur l'élongation des cellules se constate très facilement mais après un temps de latence de 15 à 20 minutes, ce qui implique l'existence d'une cascade d'événements, à partir du moment où l'auxine atteint la cellule.
2	Même expérience en mesurant continuellement le pH du milieu qui entoure les échantillons.		En présence d'auxine, on observe une baisse de pH (de 0,4 unités) du milieu environnant, après un temps de latence de 8 à 10 minutes : il s'agit vraisemblablement d'une libération de protons hors de la cellule donc du cytoplasme vers la paroi. Une partie des composants pariétaux étant maintenus par liaisons faibles, la variation de pH doit être à l'origine d'une déstabilisation de la paroi.
3	Même expérience réalisée sur des échantillons stimulés par l'auxine et en utilisant du vanadate, un inhibiteur des ATPases membranaires. <b>Courbe verte</b> : l'échantillon est traité par l'auxine ; sa croissance est stimulée après un temps de latence de 15 à 20 minutes. <b>Courbe rouge</b> : l'échantillon est traité par de l'auxine puis par du vanadate. <b>Courbe bleue</b> : l'échantillon est traité par de l'auxine puis par du vanadate puis par un pH acide.		L'action du vanadate montre que l'action de l'auxine fait intervenir une ATPase membranaire. L'acidification enregistrée est donc due à l'action de pompes à protons membranaires qui libèrent les H <sup>+</sup> dans la paroi pecto-cellulosique. L'action positive d'un pH acide montre que l'inhibition de l'action de l'auxine par le vanadate n'influence pas les réactions ultérieures et confirme le rôle de l'acidification de la paroi dans l'élongation cellulaire.  L'acidification de la paroi et l'augmentation de la plasticité pariétale se traduisent par une stimulation de croissance : parallèlement la cellule doit donc présenter une turgescence supérieure à un seuil critique et consolider sa paroi.
4	Des acides aminés radioactifs ajoutés au milieu de culture et des électrophorèses sont réalisées sur des échantillons traités ou non avec de l'auxine.	La plupart des spots obtenus sur l'électrophorèse sont semblables dans le témoin et dans les sujets traités. De nouveaux spots sont néanmoins détectables 20 minutes après traitement par l'auxine (protéines précoces) ou d'autres après deux heures ou plus.	L'action joue un rôle plus tardivement sur la régulation de l'expression de l'information génétique. Parmi les protéines dont la biosynthèse est activée par l'auxine doivent figurer des protéines structurant la paroi.

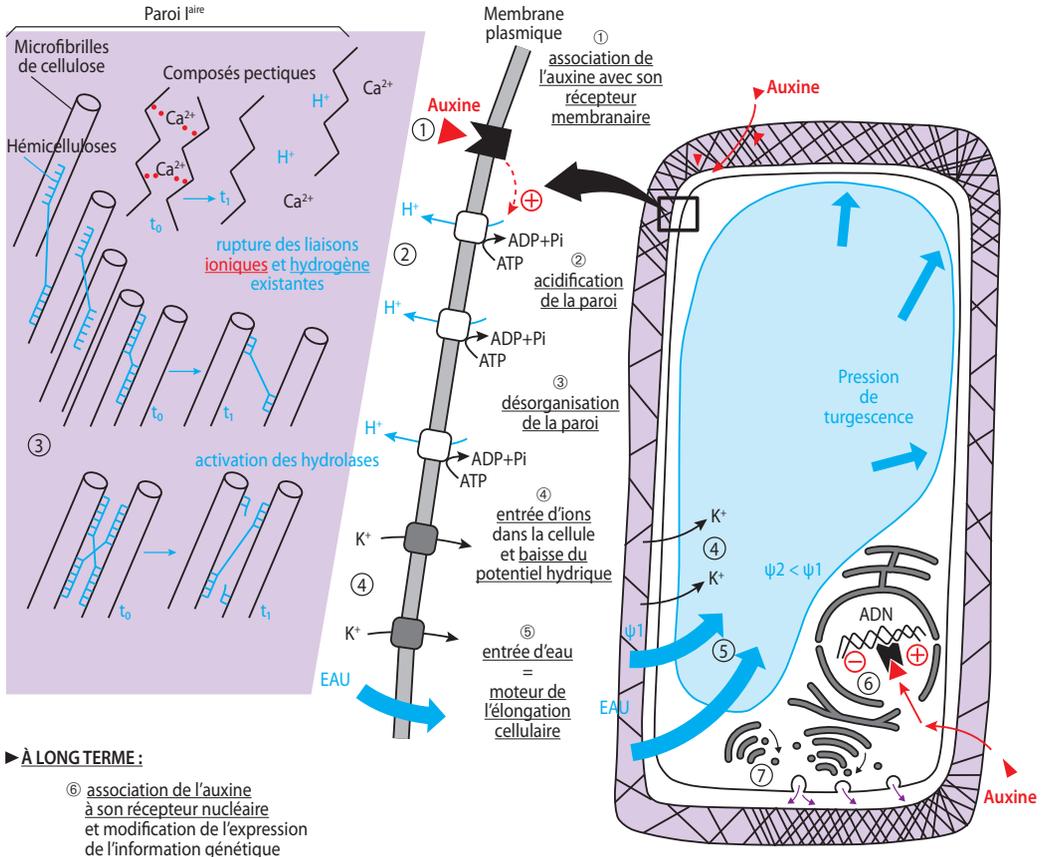
► **Figure 2.5.** Les mises en évidence expérimentales de l'action de l'auxine (AIA).

Les études menées sur les plantules de Poacées et d'autres analyses complémentaires ont montré que l'auxine possède deux types de récepteurs sur ses cellules cibles, ce qui permet sa double action :

- à court terme, l'auxine, fixée sur ses **récepteurs membranaires**, déclenche l'activation de pompes membranaires à protons : **l'acidification de la paroi** provoque la rupture de liaisons faibles entre les composants pariétaux et l'activation d'hydrolases facilitant ces dissociations. Parallèlement à la sortie de protons, l'entrée d'ions dans la cellule provoque une baisse du potentiel hydrique qui induit des **mouvements osmotiques** (mouvements d'eau) provoquant eux-mêmes une augmentation de **pression de turgescence**. Celle-ci est exercée par la vacuole sur une paroi maintenant relâchée qui s'étire.
- à long terme, l'auxine, associée à des **récepteurs nucléaires**, active indirectement l'expression des gènes impliqués dans la production de nouveaux composants pariétaux. Ceux-ci permettent de renforcer la paroi qui s'est relâchée et agrandie par turgescence : c'est la **croissance par intussusception**, qui marque l'irréversibilité de cette croissance cellulaire.

**ACTION DE L'AUXINE**

► **À COURT TERME :**



► **À LONG TERME :**

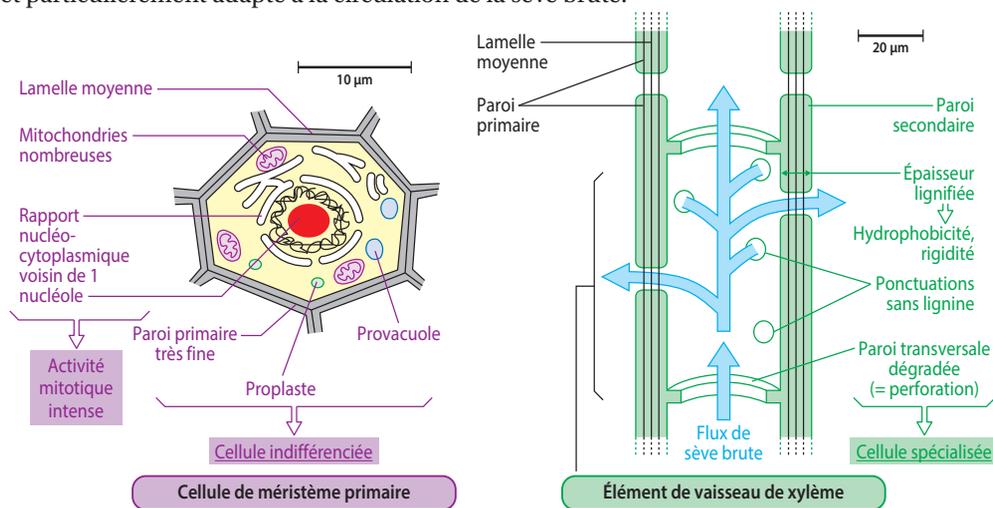
- ⑥ association de l'auxine à son récepteur nucléaire et modification de l'expression de l'information génétique
- ⑦ production de nouveaux composants pariétaux et croissance par intussusception

► **Figure 2.6.** Les modalités d'action de l'auxine.

### 1.3. Les voies de différenciation cellulaire transforment des cellules issues de méristèmes en une grande diversité de types morphologiques et physiologiques

Les cellules des **méristèmes primaires** présentent toutes les mêmes caractères : ce sont des cellules totipotentes, isodiamétriques, d'une dizaine de micromètres de côté, qui possèdent des plastes peu différenciés, quelques vacuoles réduites et une paroi primaire mince indiquant un **état indifférencié**. Elles présentent également un rapport nucléoplasmique voisin de 1 et un cytoplasme riche en ribosomes (activité de synthèse intense) caractéristiques de cellules à cycle cellulaire rapide. Leur fréquence de division et l'orientation de leur plan de division sont contrôlées et à mettre en relation avec leur position dans l'apex caulinaire ou racinaire.

Les cellules différenciées possèdent des contenus cytoplasmiques variables et diffèrent en général par l'épaisseur, la composition et la structure de leur paroi, ce qui est facilement révélé par une coloration carmino-vert sur une coupe végétale au microscope photonique. Par exemple, un élément conducteur de xylème est une cellule, qui après un fort allongement par auxèse, subit une spécialisation très poussée le conduisant dans ce cas à une mort cellulaire. Le contenu cytoplasmique de la cellule a dégénéré et les parois transversales ont été digérées. Il ne subsiste que la paroi latérale, enrichie en lignine, apportant rigidité et hydrophobicité au cylindre formé et particulièrement adapté à la circulation de la sève brute.



► **Figure 2.7.** La comparaison entre une cellule de méristème primaire et la cellule différenciée d'un vaisseau de xylème.

### 1.4. Les méristèmes secondaires sont responsables de la croissance en épaisseur

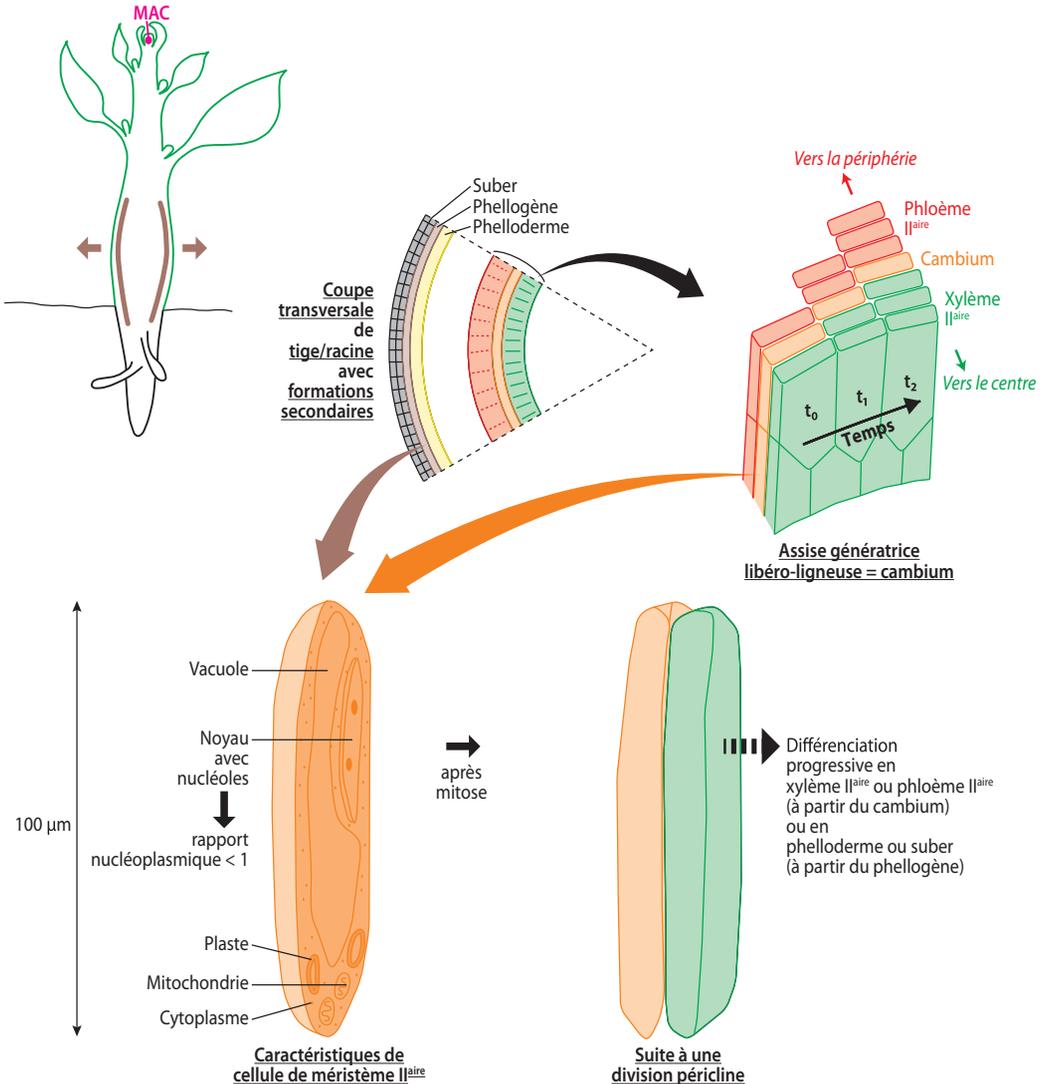
La croissance en épaisseur, chez certaines Angiospermes comme la plupart des plantes ligneuses, est assurée par la production de tissus secondaires, engendrés par l'activité des **méristèmes secondaires** dits encore **assises génératrices**. Ces méristèmes sont formés d'une à quelques couches de cellules indifférenciées formant des manchons cylindriques au sein de l'organe, en position co-axiale. Ils apparaissent à une certaine distance des apex, dans **des régions plus âgées** des tiges et des racines.

Ces assises génératrices, le **cambium** et le **phellogène**, se distinguent des méristèmes primaires par leur production strictement **histogène** :

- le cambium, **ou assise libéro-ligneuse**, forme vers la périphérie le **phloème secondaire ou liber** et vers le centre le **xylème secondaire ou bois** ;
- le phellogène met en place vers la périphérie le **liège ou suber** et vers le centre le **phelloderme**.

Les cellules des méristèmes secondaires dérivent de cellules de méristèmes primaires et/ou de **cellules dédifférenciées**. Le **cambium** provient pour partie du **procambium** et pour partie de cellules dédifférenciées.

Les cellules de **méristèmes secondaires** sont de grande taille (100 µm environ), le plus souvent allongées, fusiformes. Elles sont plus vacuolisées que les cellules de méristèmes primaires et avec un rapport nucléoplasmique plus faible.



► **Figure 2.8.** L'organisation fonctionnelle des méristèmes secondaires et les productions du cambium.



### À retenir

Les Angiospermes ne se déplacent pas mais explorent de nouveaux milieux en développant des surfaces d'échanges étendues dans l'air (capture d'énergie lumineuse et échanges gazeux) et dans le sol (absorption de solution hydrominérale). La croissance en longueur qui contribue à édifier l'axe racine-tige feuillée est assurée par les apex caulinaires et racinaires. Les cellules s'y divisent suivant des orientations privilégiées au sein de méristèmes primaires puis subissent l'auxèse sous contrôle de l'auxine, avant leur différenciation. Des méristèmes secondaires peuvent se former au sein des structures primaires : ils contribuent à l'épaississement des organes.

## ② L'appareil reproducteur se met en place à partir d'un méristème apical végétatif et sous contrôle de l'expression de gènes homéotiques

### 2.1. Le méristème reproducteur est issu de la transformation d'un méristème apical caulinaire

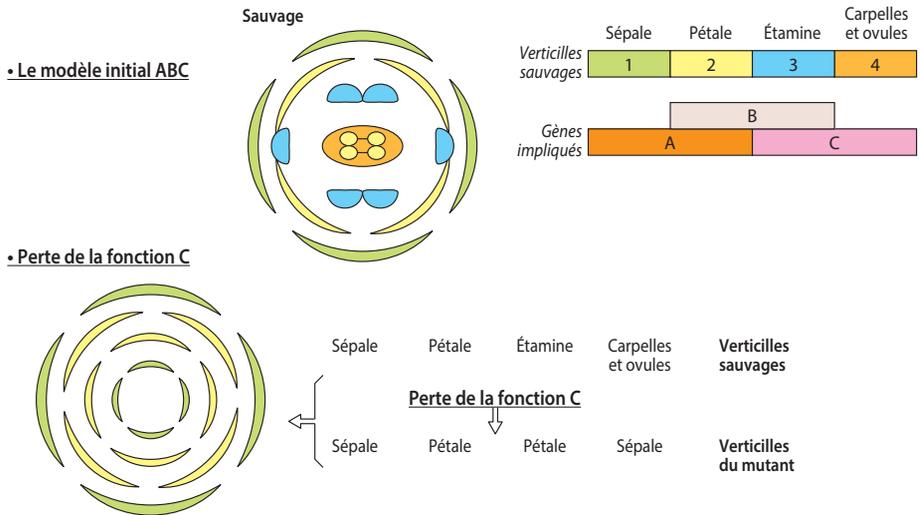
La formation de fleurs caractérise la reproduction sexuée des Angiospermes. Elle intervient après une période végétative plus ou moins longue suivant les espèces et à une période définie de l'année : elle dépend donc de **paramètres endogènes et environnementaux**. Quand les conditions sont favorables, la plante entre dans la période **d'induction florale** mais aucun changement morphologique n'est encore visible. Les modifications apparaissent durant la période suivante de transition florale, encore appelée **évocation florale**.

La manifestation la plus visible de la transition florale est le bombement du méristème apical caulinaire. Des coupes du MAC devenant méristème floral révèlent une perte de la zonation initiale, une activité mitotique très importante dans la zone centrale tandis que la zone périphérique termine son activité par la mise en place des bractées de l'inflorescence.

### 2.2. L'identité des organes floraux est déterminée par des gènes homéotiques (modèle ABCDE)

L'initiation florale correspond à l'absence de l'élongation de la tige et à l'émergence des ébauches florales organisées en verticilles.

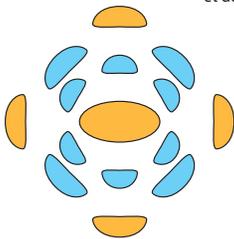
De nombreux mutants d'*Arabidopsis thaliana* présentent des fleurs modifiées où les organes floraux sont bien identifiables mais à une place anormale (mutations homéotiques) à l'instar des mutants de drosophile comme **Antennapedia** (voir chapitre 7. Les mécanismes du développement et de différenciation d'un type cellulaire). La perturbation de l'emplacement de certains organes ou le remplacement de pièces fertiles (étamines et carpelles) par des pièces stériles (pétales et sépales) a permis de mettre en évidence que les gènes impliqués dits **gènes des classes A, B, C, D et E** sont des **gènes homéotiques**, c'est-à-dire des gènes responsables de la mise en place du plan d'organisation. Ce sont des gènes du développement.



Au lieu d'obtenir une structure S - P - E - C, des mutants ne forment que des sépales et des pétales en verticilles S - P - P - S : mutants de classe C *agamous* (*ag*).

**La perte de la fonction C (*agamous*) se manifeste par l'expansion de l'expression du domaine A sur tout le méristème.**

**Perte de la fonction A** ⇒ Au lieu d'obtenir une structure S - P - E - C, des mutants ne forment que des étamines et des carpelles en verticilles C - E - E - C : mutants de classe A *apetala1* *ap1* et *ap2*;



**La perte de la fonction A (*apetala*) se manifeste par l'expansion de l'expression du domaine C sur tout le méristème.**

**Perte de la fonction B** ⇒ Au lieu d'obtenir une structure S - P - E - C, des mutants ne forment que des sépales et des carpelles en verticilles S - S - C - C : mutants de classe B *pistillata* (*pi*);



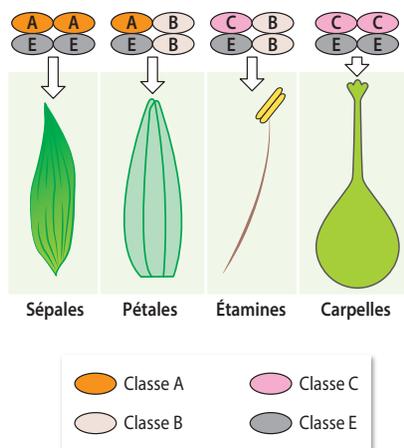
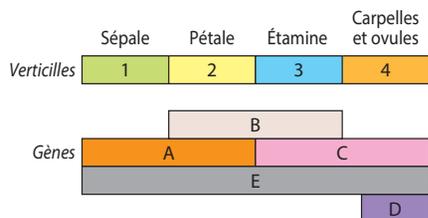
**La perte de la fonction B (*pistillata*) se manifeste par l'expression des domaines A et C. Il y a expression antagoniste de A et C : inhibition partielle de leur action.**

► **Figure 2.9.** L'interprétation des phénotypes mutants en expansion de domaines dans le modèle ABC (A. *thaliana*).

Des expériences complémentaires montrent que les gènes des classes :  
 - A + E induisent spécifiquement la formation des sépales ;  
 - A + B + E induisent spécifiquement la formation de pétales ;  
 - B + C + E induisent spécifiquement la formation des étamines ;  
 - C + E induisent spécifiquement la formation de carpelles ;  
 - C + D + E induisent spécifiquement la formation des ovules.

Facteurs de transcription spécifiques issus de l'expression des gènes A, B, C, D et E, associés en hétérotétramères et différenciation induite :

D'où le modèle de la détermination des organes floraux chez *Arabidopsis thaliana* :



► **Figure 2.10.** Le contrôle exercé par les gènes de classe A, B, C, D et E sur le plan d'organisation de la fleur d'Angiosperme.

Les protéines codées par les gènes homéotiques des classes A, B, C, D et E sont des **facteurs de transcription** qui possèdent :

- un **homéodomaine**, motif de fixation à l'ADN sur les promoteurs des gènes cibles ;
- une région d'auto-assemblage : ces facteurs agissent sous la forme d'hétérotétramères en se fixant sur les séquences régulatrices.

Les gènes de classes A, B, C et E agissent de façon précoce et sont spécifiques de certaines régions de la fleur :

- les gènes de classe A contrôlent la mise en place des verticilles de sépales et pétales ;
- les gènes de classe B contrôlent celle de pétales et étamines ;
- les gènes de classe C contrôlent celle d'étamines et carpelles.

Ces trois groupes de gènes agissent donc de façon combinatoire. Les fonctions de A et C sont antagonistes.

Les produits des gènes de classe A, B ou C ne peuvent jouer leur rôle de facteur de transcription que sous la forme d'hétérotétramères, associés à un ou deux produits des gènes E ou D, cofacteurs transcriptionnels.



### À retenir

Le cycle de développement d'une Angiosperme correspond à une phase végétative puis, à un certain âge, à une phase reproductrice, avec l'apparition d'une fleur ou d'une inflorescence. L'identité et la disposition de ces pièces sur des verticilles concentriques, suivant un plan d'organisation défini dans chaque espèce, sont sous le contrôle des gènes homéotiques de classes A, B, C, D et E.

## ③ Les Angiospermes sont des organismes à vie fixée dont le développement est étroitement influencé par les facteurs de l'environnement

### 3.1. Les adaptations des Angiospermes au milieu terrestre témoignent de l'évolution des taxons

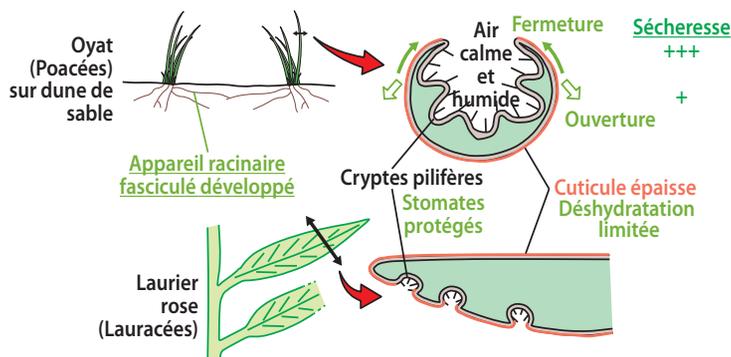
L'adaptation est une caractéristique **héréditaire** acquise par **sélection naturelle** au cours de l'évolution. Il s'agit d'un caractère transmissible à la descendance. Les adaptations ont leur origine dans les **mutations** survenues au hasard au cours du temps, passées au crible de la sélection naturelle et conservées si elles confèrent un **avantage adaptatif** aux individus qui les portent.

#### 3.1.1. Des taxons phylogénétiquement éloignés d'Angiospermes présentent des convergences évolutives

Les convergences évolutives sont des **adaptations morpho-anatomiques et physiologiques similaires acquises indépendamment par différents groupes en réponse aux mêmes contraintes environnementales**.

L'adaptation des végétaux à la sécheresse est un exemple de convergences évolutives d'autant plus probant qu'il correspond à des caractéristiques morphologiques très visibles. Les **sclérophytes** par exemple, regroupent différents **taxons** d'Angiospermes (des Poacées et des Lauracées en particulier), qui résistent à la sécheresse en :

- assurant une **protection** et une **réduction des surfaces de transpiration**, ce qui limite l'évaporation d'eau (les stomates sont protégés par des poils épidermiques, souvent au sein de cryptes pilifères) ;
- produisant une **cuticule** épaissie ;
- formant une abondance de **tissus de soutien lignifiés** comme le **sclérenchyme**, ce qui favorise l'imperméabilisation des structures ;
- augmentant la surface d'absorption dans le sol avec des **racines** profondes et étendues ;
- présentant des **cellules bulliformes** sensibles au degré d'hygrométrie ambiant ce qui provoque l'ouverture ou l'enroulement de la feuille sur elle-même suivant les conditions du milieu.



► **Figure 2.11.** Quelques adaptations à la sécheresse des Angiospermes sclérophytes.



# Biologie – Géologie

**L'ouvrage indispensable pour réussir et faire la différence aux concours**

→ **DES FICHES « REMÉDIATION »**

Pour revoir les bases et débiter sereinement sa deuxième année

→ **TOUT LE COURS**

Pour maîtriser **l'intégralité du programme**, avec plus de 500 schémas inédits, des vidéos explicatives, toutes les notions essentielles et les schémas-bilans indispensables à retenir

→ **DES ENCARTS TECHNIQUES ET DES FICHES « TIPE »**

Pour **maîtriser les techniques** spécifiques à la biologie et la géologie et **s'entraîner à l'oral** de TIPE grâce à la connaissance des enjeux et parcours métiers

→ **UN ENTRAÎNEMENT COMPLET AUX CONCOURS**

Pour **vous préparer efficacement** et **vous tester** avec plus de 150 exercices de difficulté progressive : QCM, études de documents, sujets d'oraux et sujets de synthèse

→ **TOUS LES CORRIGÉS DÉTAILLÉS**

Pour **comprendre** les étapes de résolution des exercices et **acquérir** les bons réflexes



**OFFERT EN LIGNE**

- + Plus de **180 flashcards interactives** pour mémoriser autrement
- + Des **vidéos, fiches techniques** et **sujets inédits** pour parfaire ses connaissances et optimiser son entraînement

**Des auteurs au cœur de l'enseignement et des attentes des élèves en CPGE BCPST**

**Découvrez également :**



Retrouvez notre collection  
complète ici :



ISBN : 978-2-311-21298-3



9 782311 212983