

**TOUT EN
FICHES**

L'ESSENTIEL DE

BIOLOGIE CELLULAIRE

Guillaume BARTHOLE

Professeur agrégé (PRAG) à l'ENS
Paris-Saclay

Jean-Claude CALLEN

Ancien maître de conférences agrégé
à l'université Paris Sud (Orsay)

2^e édition

DUNOD

La précédente édition de cet ouvrage est parue
dans la collection Express

© Dunod, 2009, 2019, 2023

11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-085949-8

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), 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 » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Avant-propos	V
Remerciements	VI
Fiche 1 La structure des cellules	1
Fiche 2 La diversité du monde vivant	8
Fiche 3 Les membranes biologiques	16
Fiche 4 Les transports membranaires	24
Fiche 5 L'endocytose, l'exocytose et le bourgeonnement	31
Fiche 6 Les jonctions membranaires des cellules animales	37
Fiche 7 Le rôle architectural du cytosquelette	44
Fiche 8 Les rôles dynamiques du cytosquelette	52
Fiche 9 L'organisation du noyau ; la chromatine	59
Fiche 10 La transcription	67
Fiche 11 La réplication de l'ADN	75
Fiche 12 Les chromosomes lors des divisions cellulaires : mitose et méiose	83
Fiche 13 L'appareil mitotique : le rôle du cytosquelette	90
Fiche 14 Le cycle cellulaire et son contrôle	97
Fiche 15 La traduction	105
Fiche 16 Le réticulum endoplasmique	112
Fiche 17 L'adressage des protéines au RER	118
Fiche 18 La voie de sécrétion des protéines	125
Fiche 19 L'appareil de Golgi	132
Fiche 20 Les lysosomes et les vacuoles	139

Fiche 21	Les mitochondries : structure et organisation	146
Fiche 22	Les fonctions des mitochondries	152
Fiche 23	Les plastes : organisation et diversité	159
Fiche 24	Les fonctions des chloroplastes	167
Fiche 25	Les peroxyosomes et organites apparentés	174
Fiche 26	La biogenèse des mitochondries et des plastes	180
Fiche 27	L'adressage des protéines vers le noyau	188
Fiche 28	Les matrices extracellulaires	195
Fiche 29	La communication intercellulaire	203
Fiche 30	La signalisation intracellulaire	210
Fiche 31	La différenciation cellulaire	218
Fiche 32	La mort cellulaire	226
Fiche 33	Les virus	232
Petits sujets de synthèse		239
Bibliographie		243
Crédits iconographiques		243
Index		245

Avant-propos

Cet ouvrage est destiné aux étudiants en biologie (Licence 1 et 2 de Sciences de la vie, LAS, PASS, classes prépas). Longtemps réduite à la seule description des structures cellulaires : la cytologie, cette discipline s'est enrichie, au cours du temps, des méthodes de la biochimie, de la biophysique, de la physiologie cellulaire et plus récemment de la biologie moléculaire.

Afin de coller au plus près à l'actualité de la recherche, l'enseignement universitaire se doit donc de former les étudiants aux démarches et aux outils les plus récents ; il est bien loin le temps où les séances de travaux dirigés consistaient à reproduire le plus fidèlement possible des clichés de microscopie électronique ! Actuellement, il est indispensable qu'un étudiant en biologie cellulaire connaisse un grand nombre de techniques, de plus en plus sophistiquées. Et si le fractionnement cellulaire et l'électrophorèse ne doivent plus avoir de secrets pour lui, il lui faut aussi maîtriser les bases de l'immunocytochimie et de l'hybridation *in situ*, connaître le principe d'un microscope confocal et d'un trieur de cellules, mais aussi savoir construire un protocole utilisant un système de traduction *in vitro* ou la GFP.

C'est dans cet esprit et avec cet objectif que cet ouvrage est construit. Il est divisé en 33 fiches couvrant dix grands thèmes classiques de la biologie cellulaire. Chacune d'elles inclut une page de rappels de notions indispensables et une page décrivant une technique précise, en rapport (dans la mesure du possible) avec le sujet de la fiche ; trois pages sont donc consacrées à des exercices semblables à ceux effectués dans des travaux dirigés. S'il faut savoir raisonner (ce qui est donné à une majorité d'étudiants !) et exercer son esprit critique pour réussir en biologie, il faut également disposer d'une somme toujours plus importante de connaissances sur lesquelles s'appuyer, et sans lesquelles il n'est hélas pas possible de progresser.

J.-C. Callen, G. Barthole

C'est la profonde ignorance qui inspire le ton dogmatique
Jean de La Bruyère

Remerciements

À l'occasion de la parution de cet ouvrage, fruit d'une longue expérience d'enseignement, je souhaite remercier sincèrement toute l'équipe des enseignants du Service de biologie cellulaire du L1 SV du Centre d'Orsay. Si tous les exercices présentés dans ces pages sont bien de mon cru, certains doivent beaucoup au travail d'équipe qui y a été effectué. Je dédie donc ce volume à tous mes collègues, ceux de la première heure comme ceux qui ont rejoint plus récemment ce groupe : Bussereau F., Charret R., Clérot J.-C., Deneubourg AM., Dupré S., Dutuit P., Grisvard J., Lemullos M., Orcival J., Thomas M., ainsi qu'à tous les ATER et moniteurs qui nous ont aidés.

J.-C. Callen

Je tiens à remercier tous mes collègues de l'équipe enseignante du Département d'enseignement et de recherche en Biologie de l'ENS Paris-Saclay pour les nombreuses discussions tant scientifiques que pédagogiques qui ont forgé mon expérience d'enseignement et qui m'ont inspiré pour l'écriture de quelques chapitres de ce livre.

G. Barthole

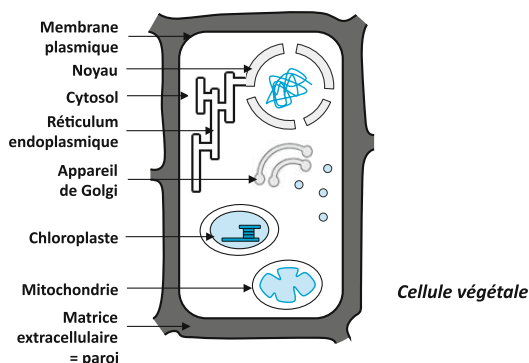
1. La cellule, unité structurale et fonctionnelle du vivant

Tous les êtres vivants sont constitués d'unités invisibles à l'œil nu : les cellules. Cette découverte, relativement récente par rapport à l'histoire de la biologie, découle de l'apparition de microscopes performants (la **théorie cellulaire** a été énoncée en 1838). La plupart des organismes sont unicellulaires et ne sont donc pas visibles à l'œil nu. Seule une infime partie de la biodiversité est représentée par les organismes pluricellulaires.

Structure des cellules

D'un point de vue purement structural, l'ensemble des êtres vivants actuels se répartit en deux grands groupes :

- les **procaryotes**, dont les cellules sont de très petite taille : ordre de grandeur = $1\text{ }\mu\text{m}$ (avec quelques exceptions), ne présentent pas ou peu de **compartimentation** (organites limités par des membranes) au sein de leur cytoplasme ;
- les **eucaryotes**, dont les cellules, de taille comprise entre 10 et $100\text{ }\mu\text{m}$, en général, sont beaucoup plus volumineuses et présentent un cytoplasme hautement structuré, contenant une grande diversité d'organites tels que : le noyau, les mitochondries, le réticulum endoplasmique...



Unicellulaires et pluricellulaires

Les procaryotes sont en général **unicellulaires** (bien qu'ils donnent parfois des populations visibles à l'œil nu), tandis que les eucaryotes sont représentés à la fois par des organismes unicellulaires (algues unicellulaires...), et des êtres **pluricellulaires** (les « Animaux », les « Végétaux verts » et les « Champignons » ; cf. fiche 2).

Chez ces derniers, la pluricellularité s'accompagne toujours d'une **différenciation** morphologique et fonctionnelle des cellules, qui se regroupent en tissus (cf. fiches 6 et 31), formant des organes dont l'ensemble constitue un organisme.

2. Les outils et méthodes de la cytologie

Les biologistes disposent de deux types de microscopes pour observer les cellules : le **microscope photonique** et le **microscope électronique**. Ils reposent sur le même principe, à savoir la déviation d'un flux de particules traversant l'objet à observer, mais utilisent des particules différentes, respectivement les photons et les électrons.

Le microscope photonique

La lumière traversant l'objet (on parle d'observation en transmission) est déviée par deux systèmes successifs de lentilles en verre appelés « objectifs » et « oculaires », avant de former une image agrandie sur notre rétine (ou tout système de capture d'une image). Sa **limite de résolution** (la plus petite distance entre deux points de l'objet vus de façon distincte) est au mieux de $0,25\text{ }\mu\text{m}$, ce qui permet de distinguer à peine la plupart des bactéries. (On rappelle que cette limite, pour l'œil nu, est de $100\text{ }\mu\text{m}$ environ.)

Le microscope électronique à transmission

Le flux d'électrons, accéléré par une très haute tension, est focalisé par des lentilles électromagnétiques sur l'échantillon à observer, au sein d'une enceinte dans laquelle le vide a été réalisé. Ceci est indispensable pour que les électrons ne soient ni ralentis ni déviés par des particules gazeuses. Par conséquent, à la différence du microscope photonique, il est impossible d'observer des **objets vivants**. Sa limite de résolution ($0,1\text{ nm}$) est bien meilleure que celle du microscope photonique, ce qui explique son intérêt.

La réalisation de coupes fines

Les objets à observer sont le plus souvent massifs, de grande taille, et non transparents à la lumière ou aux électrons, ce qui implique la réalisation de coupes fines (0,5-5 μm) ou ultrafines (50-80 nm) selon le type de microscope utilisé. Cette technique nécessite de fixer le matériel biologique (c'est-à-dire le tuer par un mélange de composés chimiques ne modifiant pas les structures cellulaires), puis de **l'imprégner** d'une substance durcissant l'échantillon (étape d'inclusion en paraffine ou en résine), afin de pouvoir réaliser des coupes les plus fines possible (étape de micro- ou ultramicrotomie). Une dernière étape de coloration (pour la microscopie photonique) ou d'ombrage (par des composés renforçant les contrastes en microscopie électronique) doit être réalisée avant toute observation.

D'autres techniques microscopiques

Elles sont dérivées de la microscopie photonique ou de la microscopie électronique et seront présentées dans les chapitres suivants. Il s'agit, en particulier, du microscope photonique à fluorescence (cf. [fiche 8](#)) et du microscope électronique à balayage (cf. [fiche 5](#)) ; les protocoles de cryofracture, d'immunocytochimie et de coloration négative seront également décrits dans les fiches 6, 7 et 11.

EXERCICE 1 Caractéristiques des cellules et microscopie

1. Quelles sont les différences entre une cellule eucaryote et une cellule procaryote ?
2. Quels sont les points communs de toutes les cellules ?
3. Quelles sont les différences entre la microscopie photonique et la microscopie électronique ?

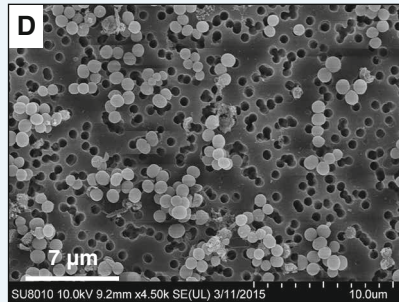
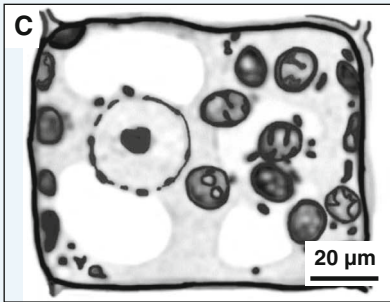
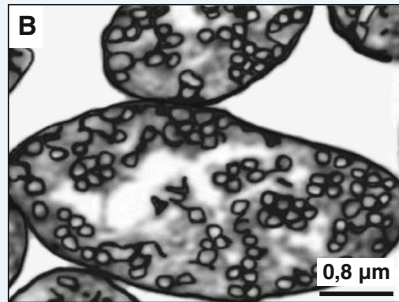
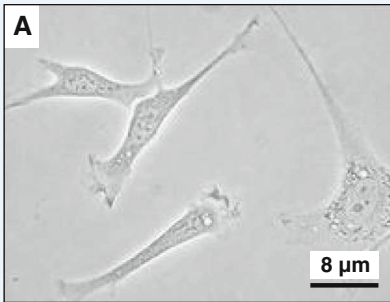
Solution

1. Les cellules procaryotes présentent peu de **compartimentation subcellulaire**, alors que les cellules eucaryotes en possèdent de nombreuses, notamment un **noyau** mais aussi des **mitochondries**, un réticulum endoplasmique, etc... En général, les cellules procaryotes sont plus petites que les cellules eucaryotes mais il existe des exceptions.
2. Toutes les cellules possèdent une **membrane plasmique** qui les délimite composées d'une bicouche de phospholipides (cf. fiche 3 additionné de protéines, un **cytosol** aqueux dans lequel se déroulent les réactions métaboliques et un **matériel génétique** sous forme d'ADN.
3. La microscopie photonique utilise de la **lumière** pour visualiser un objet alors que la microscopie électronique utilise un **flux d'électrons**. La microscopie optique possède un pouvoir de **résolution** d'environ $0,25\ \mu\text{m}$ qui permet de distinguer les principaux types cellulaires alors que la microscopie électronique permet d'observer des structures subcellulaires voire des complexes protéiques avec son pouvoir de résolution de $0,1\ \text{nm}$. Enfin, la microscopie photonique permet d'observer des **échantillons vivants**, ce que ne permet pas la microscopie électronique qui nécessite une observation d'un échantillon plongé dans le vide.

EXERCICE 2 Structures subcellulaires

Voici des schémas et des photos de différents types de cellules.

1. Légendez les photos et schémas.
2. En vous aidant des barres d'échelle, calculez leurs dimensions exactes.
3. Parmi ces cellules, lesquelles sont procaryotes ? eucaryotes ?
4. Parmi les cellules eucaryotes, savez-vous distinguer les cellules animales des cellules végétales ? Justifiez vos réponses.



Solution

1. Sur la photo A, on distingue le noyau, l'enveloppe nucléaire, les nucléoles et la membrane plasmique. Sur la photo B, on distingue une membrane plasmique externe et des granulosités à l'intérieur. Sur la photo C, on observe un noyau au centre, deux vacuoles plus claires, des mitochondries, une membrane plasmique et une paroi. Enfin, sur la photo D, on observe des cellules très petites dont il est impossible de connaître la structure interne.

2&3. Les cellules B et D sont de **très petite taille** (respectivement 1,5 μm et 3,4 μm) et visiblement non ou peu compartimentées ; il s'agit de cellules **procaryotes**. Les cellules A et C sont de **taille bien supérieure** (respectivement 20 μm et 80 μm) et possèdent de nombreux compartiments internes, dont un noyau, volumineux et très reconnaissable ; il s'agit donc de cellules **eucaryotes**.

4. La cellule C, qui possède de grandes vacuoles, des chloroplastes et une paroi épaisse, est une cellule végétale ; la cellule A ne possède pas de vacuole, il s'agit donc d'une cellule animale.

EXERCICE 3 Combien de cellules dans une colonie bactérienne ou fongique ?

Une colonie bactérienne a été obtenue sur un milieu de culture gélosé par multiplication d'une seule cellule initialement déposée à sa surface (même espèce que celle étudiée dans l'exercice précédent). Cette colonie a une forme lenticulaire et mesure 4 mm de diamètre sur 1 mm de hauteur. On admettra que son volume est approximativement égal à la moitié du volume d'un cylindre de mêmes dimensions.

1. Si l'on admet aussi que la moitié du volume de cette colonie est représentée par de la solution nutritive remplissant les espaces intercellulaires par capillarité, pouvez-vous calculer le nombre de cellules contenues dans cette colonie ?
2. Cette colonie ayant été obtenue après un temps de culture de 36 h, quel est le temps de génération (durée de la période entre deux divisions) chez cette bactérie ?
3. Le même type de colonie (mêmes dimensions) est obtenu à partir d'une culture de levures *Saccharomyces cerevisiae*. Sachant que cette colonie a été obtenue après un temps de culture de 48 h, quel est le temps de génération pour cette levure ?
4. Comparez les temps de génération obtenus pour les colonies de bactéries et de levures.

On donne : surface d'un cercle = πr^2 ; la valeur de 2^9 est très voisine de 500 (512), et celle de 2^{10} est très voisine de 1 000 (1 024).

Solution

1. Le volume total de la colonie, équivalent au demi-volume du cylindre, est donc égal à : $3,14 \times 4 \times 1/2 = 12,56/2 \text{ mm}^3$, soit $6,28 \text{ mm}^3$. Si les cellules seules représentent la moitié de ce volume, on obtient la valeur de $3,14 \text{ mm}^3$. Sachant que 1 mm^3 représente $10^9 \mu\text{m}^3$ et que le volume d'une cellule bactérienne est de $4,18 \mu\text{m}^3$, on calcule un effectif de **$7,5 \times 10^8$ cellules pour cette seule colonie**. Cette valeur est telle que, dans seulement 10 colonies de cette taille, il y a plus de cellules bactériennes que d'êtres humains sur notre planète !

2. La croissance d'une population de bactéries suit une progression exponentielle : 2^n , n étant le nombre de générations (divisions). On peut aisément calculer ce nombre sachant que $2^{10} = \text{environ } 1\,000$; la valeur de $7,5 \times 10^8$ se décompose donc en $750 \times 1\,000 \times 1\,000$. Si on considère que 750 est légèrement supérieur à 2^9 , on obtient : $2^9 \times 2^{10} \times 2^{10}$, soit 2^{29} ; il a donc fallu **29 générations** pour passer de 1 cellule à la colonie finale, ce qui a été réalisé en 36 h. Une génération dure