

Monique Tourte

Aide-mémoire

Biologie cellulaire

3^e édition

DUNOD

Nouvelle présentation, 2019
© Dunod, Paris, 2003, 2011
© Diderot, 1998, pour la première édition
ISBN 978-2-10-080625-6

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	VII
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 • PRÉSENTATION DES CELLULES PROCARYOTES ET EUCARYOTES	5
1.1 La cellule bactérienne	5
1.2 La cellule eucaryote	10
CHAPITRE 2 • MÉTHODES D'ÉTUDE DE LA CELLULE	18
2.1 Les techniques d'observation	18
2.2 Les techniques biochimiques	32
CHAPITRE 3 • LA MEMBRANE PLASMIQUE	40
3.1 Composition chimique	41
3.2 La membrane plasmique est une mosaïque fluide	45
3.3 La membrane plasmique : zone d'échanges avec le milieu extérieur	51
CHAPITRE 4 • LE NOYAU ET SES FONCTIONS	63
4.1 Organisation de la chromatine	65
4.2 Les séquences de l'ADN	74
4.3 La duplication des chromosomes	78
4.4 L'ADN est capable de se réparer	85
4.5 Les conséquences de la réplication : la division cellulaire	88
4.6 La transcription	107

Table des matières

CHAPITRE 5 • LE CYTOSOL	128
5.1 La synthèse protéique	129
5.2 La glycolyse et la production d'ATP	136
5.3 Le cytosquelette	137
CHAPITRE 6 • LE SYSTÈME ENDOMEMBRANAIRE	158
6.1 Le réticulum endoplasmique	158
6.2 L'appareil de Golgi	165
6.3 Les lysosomes	170
6.4 Les vacuoles des cellules végétales	172
6.5 Les peroxysomes	174
CHAPITRE 7 • LES ORGANITES POURVOYEURS D'ÉNERGIE : LES MITOCHONDRIES ET LES CHLOROPLASTES	178
7.1 Les mitochondries	178
7.2 Les chloroplastes	186
CHAPITRE 8 • LA COMMUNAUTÉ CELLULAIRE	195
8.1 Le contrôle du cycle cellulaire	196
8.2 La mort cellulaire programmée	201
8.3 La matrice extracellulaire	205
8.4 Les jonctions cellulaires	212
8.5 La communication entre cellules	216
8.6 Les cellules souches : préoccupation des biologistes et mise en place de thérapies innovantes	225
8.7 Et les cellules végétales ?	233
CONCLUSION	235
ANNEXES	239
INDEX	243

Avant-propos

Cet ouvrage d'introduction à la Biologie Cellulaire, nouvelle édition remise à jour d'un volume paru en 1998, puis en 2003, est plus particulièrement destiné aux étudiants du premier cycle des Universités, aux élèves des classes préparatoires et des BTS à orientation biologique. Il sera toutefois utile à tous ceux, enseignants, étudiants d'autres filières et non spécialistes, qui désirent faire rapidement le point sur les connaissances fondamentales de cette discipline ancienne, mais en perpétuelle évolution.

À l'échelle de la cellule, se rencontrent les problématiques auxquelles s'intéressent d'autres disciplines qui étudient l'organisation biologique à l'échelle moléculaire ou de l'organisme. Aussi la biologie cellulaire recouvre-t-elle un très vaste champ de connaissances, souvent indissociables d'apports de la biochimie, de la biologie moléculaire, de la génétique et de la physiologie. Nous en avons tenu compte, en favorisant dans nos choix, l'aspect proprement cellulaire des phénomènes.

Nous avons également analysé les caractéristiques des trois grands types d'organisations cellulaires : bactéries, cellules animales et végétales, présents dans le monde vivant. Ils sont le produit d'évolutions qui ont privilégié des stratégies fonctionnelles différentes, tout en conservant, de leur origine commune, une grande unité.

Notes à propos de la troisième édition

La biologie cellulaire, une des composantes majeures des sciences de la vie, a progressé avec une impressionnante rapidité au cours de la dernière décade. Elle est une discipline qui concerne tous les groupes d'êtres vivants : procaryotes, eucaryotes fongoïdes, végétaux et animaux. Elle est également le produit d'une synthèse qui bénéficie toujours des recherches poursuivies dans de nombreuses disciplines.

Si les concepts de base concernant l'organisation structurale de la cellule ou les grandes voies empruntées par les échanges métaboliques peuvent, aujourd'hui, être considérés comme bien établis, ils ne semblent plus correspondre à des sujets prioritaires. Par contre, des domaines se sont plus particulièrement développés depuis quelques années, et sont porteurs de grandes potentialités autant sur le plan des connaissances fondamentales que dans celui des applications biomédicales et bio-industrielles.

Parmi ces axes de recherche, on peut citer :

- certains aspects du fonctionnement du noyau : l'organisation spatiale et fonctionnelle de la chromatine, la mise en évidence des ARN interférents et de leur rôle dans la régulation des gènes, les aspects moléculaires des échanges entre le noyau et le cytoplasme ou de l'inactivation d'un chromosome X ;
- les signaux extra et intracellulaires concernant le choix entre le maintien de la vie ou la mort programmée des cellules ;
- l'importance des cellules souches dans le domaine animal puis humain et leur potentiel thérapeutique, alors que leurs caractéristiques fondamentales ont longtemps été considérées comme une spécificité des cellules végétales.

C'est en tenant particulièrement compte des avancées dans ces domaines, que cet aide-mémoire de biologie cellulaire a fait l'objet d'une actualisation, pour cette présente édition.

Introduction

La biologie cellulaire, telle que nous la concevons aujourd'hui, a pour but d'étudier la structure et le fonctionnement complexe des cellules normales et de comprendre l'origine de nombreuses anomalies actuellement recensées. Nos connaissances actuelles sont la résultante d'une très longue histoire, qui a débuté au XVII^e siècle, par l'apparition du terme de cellule. R. HOOKE, à qui nous le devons, n'était nullement un biologiste, mais s'intéressait à la porosité des matériaux dont il tentait d'analyser la surface, à l'aide d'un microscope de sa conception. L'étude du liège a été faite sur le même plan que celle de la surface d'une épingle ou d'un tissu. À la même époque, van LEEWENHOEK observa, grâce à un microscope très primitif, des unicellulaires, algues, protistes ou spermatozoïdes.

Cependant, ce n'est que deux siècles plus tard qu'un botaniste allemand M.J. SCHLEIDEN (1838) donna une première formulation de la théorie cellulaire. Il définit, en effet, chaque plante comme un ensemble de cellules. Quelques années plus tard, et en confrontant ses observations avec celles du zoologiste SCHWANN, cette théorie fut étendue à tous les êtres vivants. Elle fut complétée par VIRCHOW, en 1855, qui énonça que toute cellule dérivait d'une cellule préexistante. La cellule est alors reconnue comme l'unité fondamentale du monde vivant.

Par la suite, et de manière indépendante, les progrès furent réalisés à la fois sur la morphologie cellulaire (membranes, noyau, appareil de Golgi, mitochondries, chloroplastes), sur leurs composants, ainsi que sur la transmission des caractères des individus.

LIEBIG (1840), fut le premier à déterminer l'existence de trois types de substances, les sucres, les graisses et les albuminoïdes ou protéines, puis ce fut BÜCHNER (1897) qui découvrit que des extraits de levures étaient capables de convertir des composés organiques en d'autres produits.

Pendant la même période, MENDEL (1865), jetait les bases de la génétique moderne, avec la définition expérimentale des caractères dominants et récessifs, ainsi que celle de la disjonction indépendante de ces mêmes caractères dans les gamètes. Ses travaux ne furent vraiment connus qu'au début du XX^e siècle. Très rapidement, en 1903, SUTTON fit la relation entre caractères et chromosomes, avant que MORGAN ne les positionne les uns par rapport aux autres. Une autre avancée importante fut la relation faite par BEADLE et TATUM entre la présence d'un gène et la synthèse d'une enzyme. L'étape suivante fut franchie par AVERY, qui démontra, en 1944, que l'ADN était le support de l'information génétique.

L'avènement du microscope électronique, permit, dans les années quarante, d'analyser la complexité des structures cellulaires, puis de définir la composition des fractions obtenues après broyage des tissus et centrifugation, en parallèle avec leur analyse biochimique. Mais c'est en 1953, après la découverte par WATSON et CRICK de la structure de la double hélice d'ADN, que débuta le formidable essor de la biologie moléculaire. Le séquençage du génome humain et la recherche des gènes intervenant dans les phénomènes biologiques et leur régulation, ont permis de percer bien des mystères et d'avancer dans la compréhension du fonctionnement cellulaire.

Les connaissances acquises par la suite ont été le résultat de nombreuses expériences effectuées en parallèle dans des domaines différents. Elles ont surtout porté sur la régulation de l'information génétique, sur l'analyse du cytosquelette et de sa plasticité, ou sur la compréhension des voies de signalisation. Les nombreux résultats obtenus ont éclairé d'un jour nouveau le fonctionnement des cellules elles-mêmes, mais aussi celui des organismes entiers, composés d'un grand nombre de tissus différents, aux fonctions très variées mais coordonnées.

Les résultats impressionnants de la biologie moléculaire et de la génétique n'ont donc pas éclipsé la biologie cellulaire, mais sont venus

nourrir son développement. En effet, la cellule reste le niveau où se croisent les problématiques issues de nombreuses disciplines, car la notion de vie est indissociable de l'organisation cellulaire qui, seule, réunit les attributs essentiels du vivant :

- la cellule est le siège du métabolisme qui construit, à partir de briques élémentaires et d'énergie, les molécules complexes propres à chaque organisme ;
- elle est la dépositaire du matériel génétique, qui fournit les instructions à la machinerie cellulaire et se transmet de génération en générations, lors des diverses divisions ;
- ce matériel génétique est capable d'évolution.

L'apparition de la vie peut être datée de celle des premières cellules, il y a environ 7 milliards d'années. Chaque cellule dérive d'une autre cellule préexistante et l'on admet aujourd'hui que procaryotes et eucaryotes actuels tirent leur origine d'une cellule ancestrale commune et qu'ils ont évolué en colonisant et en s'adaptant à des milieux très différents.

Si les unicellulaires représentent toujours la majorité des espèces actuellement recensées, animaux et végétaux sont des sociétés de cellules. Les premiers organismes pluricellulaires ont été découverts dans les étages précambriens. Des cellules ont été capables de s'associer par l'intermédiaire de molécules d'adhésion puis de jonctions solides, de se spécialiser et de communiquer entre elles, pour que l'activité de chacune bénéficie à la communauté entière. De cette évolution est née la grande diversité des tissus et des cellules rencontrés chez les animaux et les plantes supérieures.

Malgré cela, les cellules ont conservé des caractéristiques communes dans leur structure comme dans leur métabolisme. C'est cette unité, redécouverte pas à pas, que nous allons tenter de présenter.

CELLULES PROCARYOTES ET EUCARYOTES

1

Les cellules procaryotes se définissent par l'absence de noyau (leur nom vient du grec *pro*, avant et de *karion*, noyau) et un matériel génétique non séparé du cytoplasme. Les cellules eucaryotes (de *eu*, vrai et de *karion*, noyau) par contre, possèdent un compartiment nucléaire individualisé et des compartiments cytoplasmiques spécialisés, limités par une membrane ou une enveloppe (association de deux membranes).

Les organismes eucaryotes comprennent à la fois des unicellulaires, comme les protozoaires, certaines algues ou certains champignons et des pluricellulaires animaux et végétaux, dont les cellules sont regroupées en tissus qui sont le siège de fonctions spécialisées, tout en possédant le même génome. Toutes présentent des caractéristiques communes. Elles sont composées des mêmes molécules et leur organisation varie autour d'un plan de base commun.

1.1 LA CELLULE BACTÉRIENNE

Les bactéries sont très polymorphes. La majorité d'entre elles vit dans l'eau et le sol, mais d'autres sont adaptées à des milieux extrêmes. Elles ont, par exemple, colonisé les marais – milieu anaérobie – et produisent du méthane, tandis que d'autres vivent dans des eaux très chaudes et sulfureuses. Le diamètre de la majorité d'entre elles varie entre 1 et 5 μm .

La plus connue est *Escherichia coli*, très utilisée par les biologistes moléculaires et dont le biotope naturel est l'intestin des mammifères. L'organisation interne de cette cellule d'environ 2 μm de long sur 0,8 μm

de diamètre (figure 1.1), est relativement simple. Elle est limitée par une enveloppe de 25 nm d'épaisseur, non colorable par le colorant de GRAM (figure 1.2). On trouve de l'extérieur vers l'intérieur :

- une **membrane externe**, bicouche lipopolysaccharidique dans laquelle sont intégrées des glycoprotéines, dont les porines qui permettent à des solutés hydrophiles de la traverser et d'autres qui interviennent dans le chimiotactisme ;
- un **espace périplasmique** qui sépare cette membrane externe de la membrane interne. Il contient des protéines et une paroi, fine couche de peptidoglycane, sécrétés par la cellule, au niveau de la membrane interne ou plasmique ;
- la **membrane plasmique** constituée d'une bicouche phospholipidique à laquelle sont associées des protéines aux fonctions multiples, dont celles intervenant dans les échanges entre la cellule et le milieu extérieur et dans la respiration.

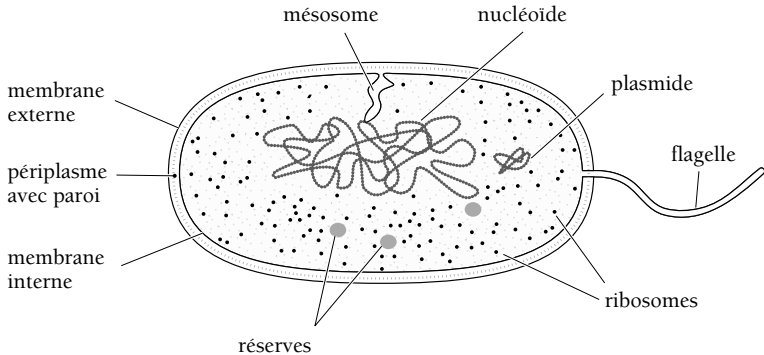


Figure 1.1 Reconstitution schématique de la structure d'une bactérie Gram négative.