

# La cellule

Primaire et collège

## Résumé

Trop souvent, les objets ou les mécanismes qui se situent à l'échelle moléculaire sont évoqués sans qu'aucune référence à la notion de cellule soit faite. Ce fait paradoxal reflète la dominance de l'approche moléculaire dans les filières d'enseignement scientifique du secondaire. Il s'agit alors de savoir si la notion de cellule est mineure pour la compréhension du vivant ou si, au contraire, elle a une place centrale qui justifierait de l'évoquer avec des enfants de l'école primaire.

# la cellule

Charles Auffray

## La notion de cellule est-elle importante pour aborder le vivant ?

De manière classique, on considère qu'un être vivant se nourrit, grandit et se reproduit, définition qui reflète une approche de la biologie par les grandes fonctions : nutrition, croissance, reproduction. Après l'observation des propriétés des êtres vivants et de leurs comportements, la question de comprendre « comment ça marche ? » se pose.

Trop souvent, les objets ou les mécanismes qui se situent à l'échelle moléculaire sont évoqués sans qu'aucune référence à la notion de cellule soit faite. Ce fait paradoxal reflète la dominance de l'approche moléculaire dans les filières d'enseignement scientifique du secondaire. Il s'agit alors de savoir si la notion de cellule est mineure pour la compréhension du vivant, ou si au contraire elle a une place centrale qui justifierait de l'évoquer avec des enfants de l'école primaire.

## Qu'est-ce qui est vivant ?

Comme nous venons de l'énoncer, la définition courante d'un être vivant est qu'il « se nourrit, grandit et se reproduit », autrement dit qu'il est capable de remplir les fonctions de nutrition, de croissance et

de reproduction. On pourrait étendre la liste des fonctions en y ajoutant par exemple la locomotion, la communication ou le système de défense. On dirait alors qu'un être vivant « se déplace, communique et se défend ». Pour tenter de clarifier la situation, on peut se demander s'il existe dans le monde inanimé, non vivant, des objets capables de remplir chacune ou la plupart de ces fonctions. Un observateur situé sur la Lune aurait beau jeu d'affirmer que les véhicules automobiles sont vivants car ils se déplacent, en grand nombre à certaines heures, certains jours ou à certaines périodes de l'année, qu'ils communiquent à l'aide de signaux sonores ou lumineux, et qu'ils se défendent ou s'attaquent en se heurtant ou en s'envoyant des projectiles. De plus ils se nourrissent d'un liquide odorant collecté dans des stations-service et ils se reproduisent dans des usines. En cherchant bien, on en trouve même qui grandissent en longueur ou en hauteur.

On pourrait citer nombre d'exemples qui invalideraient chaque critère pris isolément. L'exemple qui précède montre que la conjonction des fonctions est peut-être une condition nécessaire, mais pas suffisante, pour définir les critères du vivant. C'est dans la capacité d'un être vivant à remplir les fonctions de lui-même, par ses propres moyens, qu'il faut rechercher la solution.

En d'autres termes, c'est l'autonomie dans l'exécution des fonctions qui semble caractériser l'être vivant : il fonctionne,

interagit avec son milieu et se reproduit au cours des générations selon ses propriétés intrinsèques.



Des enfants, même jeunes, peuvent débattre autour de cette question : qu'est-ce qui est vivant ? Les échanges qu'ils pourront avoir autour des grandes fonctions les conduiront à émettre et à réfuter des hypothèses, l'adulte n'étant qu'un auditeur attentif. Les exemples, cités plus haut, donnent des idées sur comment orienter le débat des enfants. L'issue de ce débat pourrait conduire les enfants à comprendre que le point commun entre les êtres vivants est les cellules qui les composent. Selon l'âge des enfants, l'adulte devra peut-être introduire cette notion. En tout état de cause, il ne faut pas sous-estimer la difficulté à appréhender cette notion en apparence si simple, mais dont l'acceptation n'a été acquise qu'après plusieurs siècles de débats, comme nous allons le voir.

## Importance de la théorie cellulaire pour expliquer la diversité et l'unité du monde vivant

La théorie selon laquelle tout être vivant est constitué de cellules, et que toute cellule dérive d'une cellule préexistante date d'à peine plus d'un siècle. Elle est issue des observations faites à partir du XVII<sup>e</sup> siècle, siècle qui a vu l'invention du microscope. Jusqu'à cette époque en effet, on savait bien qu'il existait une multitude d'animaux et de plantes, classables d'après leur apparence ou leur constitution, et dont on connaissait les capacités de reproduction. Mais la question de savoir ce qu'ils ont en commun qui les distingue du monde inanimé restait posée.

L'invention du microscope a mis en évidence des êtres vivants minuscules dont l'existence échappait à l'observation à l'œil nu. Il est important de souligner qu'il faudra plus de deux siècles avant qu'une multitude d'observations soient rassemblées en une théorie cohérente, la théorie cellulaire. Il n'était pas *a priori* évident que le point commun entre le monde microbien, que le microscope révèle, et les plantes et les animaux soit simplement l'existence d'espaces délimités par une membrane où ont

lieu les réactions chimiques caractéristiques de la vie. Alors que le monde vivant est d'une extrême diversité, l'idée même que celui-ci ait un même fondement heurtait le bon sens.

Les théories de l'hérédité et de l'évolution ainsi que les théories biochimiques de la vie se sont développées à la même époque que la théorie cellulaire. Ces théories affirment que le monde vivant a une origine commune et obéit aux lois de la physique et de la CHIMIE.

## Unité et diversité des cellules

Toutes les cellules ont en commun d'être délimitées par une membrane, principalement composée de lipides. Cette membrane, qui sépare l'intérieur de la cellule du milieu extérieur, n'est pas imperméable. Au contraire, elle possède la propriété de régler les échanges entre l'intérieur et l'extérieur d'une manière sélective, c'est-à-dire qui dépend de la nature chimique des éléments, ou des MOLÉCULES susceptibles de pénétrer dans la cellule (eau, sels minéraux, gaz de la respiration, sucres, lipides, etc.). Toutes ces molécules sont dissoutes dans l'eau, qui constitue le milieu intérieur des cellules et la principale

composante des êtres vivants. Ce milieu intérieur ou cytoplasme contient lui-même toutes sortes de structures spécialisées dans des fonctions d'échange, de transport, de production d'ÉNERGIE, qui constituent le MÉTABOLISME cellulaire. Un grand nombre d'êtres vivants, comme les bactéries ou les PROTOZOAIREs, sont constitués d'une seule cellule. À l'opposé, un animal ou une plante peuvent être formés de dizaines de milliers de milliards de cellules, appartenant à des centaines de types différents. Toutes les cellules sont issues de divisions successives de la cellule œuf résultant de la fécondation d'un ovule par un spermatozoïde. La REPRODUCTION, SEXUÉE ou ASEXUÉE, la croissance et le développement reposent sur la capacité des cellules à se diviser et éventuellement à se différencier les unes des autres pour former les différents tissus et organes qui remplissent les différentes fonctions :

- sang et poumon pour la respiration,
- muscles et os pour la stature et la locomotion,
- estomac, intestin, foie, rein et vessie pour la nutrition,
- cerveau et nerfs pour la perception, la communication et la conscience,
- organes sexuels pour la reproduction ; etc., pour ne parler que du monde animal.

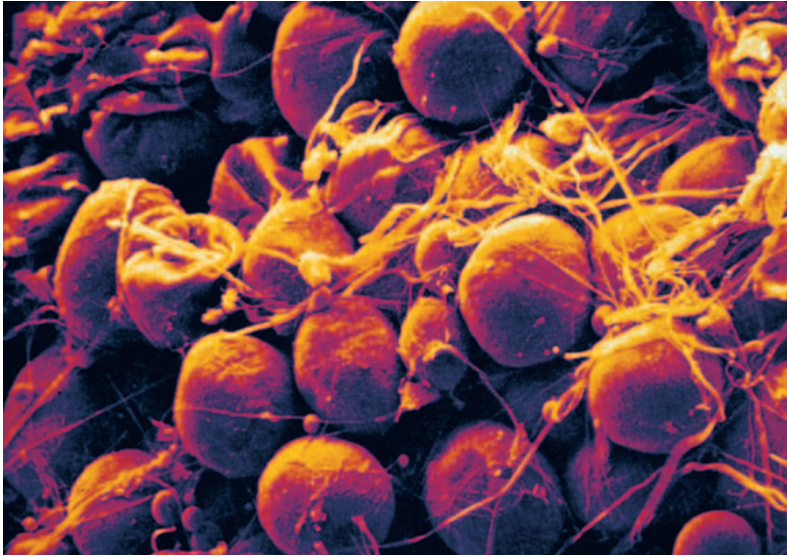
La plupart des cellules ont des dimensions qui se mesurent en millièmes de millimètres ou microns (millième de millimètre,  $\mu$ ), ce qui explique qu'on ne peut les observer qu'au microscope. Cependant, en fonction de leur spécialisation, elles peuvent atteindre des tailles importantes dans au moins une dimension, comme les cellules nerveuses dont les prolongements peuvent atteindre un mètre, ou comme les œufs gonflés de réserves nutritives qui occupent

un espace dont le diamètre est de l'ordre de quelques millimètres chez les poissons ou les batraciens, et de quelques centimètres chez les oiseaux. C'est donc à partir de l'étude d'œufs accessibles à l'observation courante que l'on peut introduire la notion de cellule auprès des jeunes enfants, en la reliant à la fonction de reproduction.

## La cellule et la reproduction

Il reste en effet à expliquer comment les cellules rendent compte de la capacité des êtres vivants à se reproduire. La théorie de l'hérédité conçue par Mendel au XIX<sup>e</sup> siècle impliquait l'existence d'une double commande à l'intérieur des organismes expliquant la transmission des caractères d'une génération à l'autre. Morgan a montré au début du XX<sup>e</sup> siècle qu'au cœur des cellules, des corps fixant des COLORANTS, les chromosomes, ont exactement les propriétés attendues du support de cette commande intérieure, ou GÈNE. Les biochimistes et les biologistes moléculaires ont ensuite montré qu'un acide nucléique, l'acide désoxyribonucléique – l'ADN –, qui constitue les chromosomes, est le support matériel de l'hérédité et du contrôle du fonctionnement des cellules.

Au sein des cellules ont lieu les réactions biochimiques spécifiques de la vie, sous le contrôle de l'ADN, qui assure également la pérennité de la cellule. L'ADN peut être pelotonné dans la cellule et simplement attaché à la face intérieure de la membrane, comme chez les bactéries. À l'opposé, dans le noyau EUKARYOTE, l'ADN se combine avec des PROTÉINES pour former la chromatine. Au moment de la division du noyau, la chromatine se condense et s'enroule de façon très serrée pour former les chromosomes.



Cellules du tissu adipeux gonflées de graisse, vues au microscope électronique à balayage. © CNRS

Ces derniers sont porteurs de l'hérédité et sont contenus dans une enveloppe délimitée par un système de membranes, le noyau, qui est le principal corpuscule ou organite visible au microscope à l'intérieur de la cellule. La division cellulaire s'accompagne de la duplication de l'ADN, qui se répartit

de manière égale entre les deux cellules filles qui possèdent ainsi le même matériel génétique. La DIFFÉRENCIATION CELLULAIRE est le processus par lequel des cellules initialement semblables suivent des voies différentes de développement. La différenciation s'explique par le fait que des ensembles de gènes différents (portés par les chromosomes) sont actifs dans chaque type cellulaire, ensembles qui sont modulés par les conditions de l'environnement (organes dans lesquels ils s'expriment). L'évolution des êtres vivants repose sur l'imperfection du mécanisme de duplication de l'ADN qui produit des différences à l'origine de la diversification des individus. Lorsque ces individus ne parviennent plus à se féconder



### Chercher, voir et montrer des cellules

- ◆ Après avoir demandé aux enfants ce qui caractérise les êtres vivants et introduit la notion de cellule, ces derniers pourront partir à la recherche d'êtres vivants ou de cellules dans l'environnement proche de l'école. Les « trouvailles » qu'ils pourront faire, proviendront essentiellement de la flore entourant l'école, ou il s'agira d'un œuf de poule ou d'œufs de poisson rapportés de chez eux, d'insectes trouvés dans la cour, etc. On peut imaginer toutes sortes de variantes : animaux, cheveux, salive...
- ◆ Pour aborder le changement d'échelle qui requiert la visualisation des cellules, les enfants devront disposer, s'ils en font la demande, d'une loupe simple, d'une loupe binoculaire et d'un microscope optique. À chaque étape de l'observation, il est important de se demander : que voit-on ? combien cela mesure-t-il ?
- ◆ Cela impliquera de décrire, d'observer à tour de rôle, de discuter d'interprétations possibles (est-ce un artefact – ce qui est introduit de façon non intentionnelle lors d'une expérimentation – ? est-on à la bonne échelle ?), de calculer les facteurs de grandissement.
- ◆ Avec l'aide d'un professeur de biologie du collège ou du lycée voisin, vous disposerez également d'un échantillon de lames choisies à l'avance avec une variété de sujets : globules rouges, coupes de feuilles ou de tiges, etc., ainsi que de livres présentant des images de cellules.
- ◆ Ainsi, en peu de temps, il est possible de trouver, d'observer et de décrire des cellules de notre environnement proche. Il ressort souvent de cette expérience pratique qu'il est difficile de comprendre et d'interpréter ce que l'on observe au microscope. Vous pourrez ainsi faire comprendre aux enfants qu'il n'est pas étonnant que deux siècles aient été nécessaires à l'humanité pour franchir cette étape ! Les préparations présentant une coloration naturelle ou les lames préparées avec des colorants spécifiques permettant l'identification des différents constituants s'avèrent les plus utiles pour progresser dans la discussion.

mutuellement, on parle d'« espèce ». La cellule apparaît donc comme une unité centrale du monde vivant, tant sur le plan conceptuel que pratique, pour expliquer l'unité, la diversité et le fonctionnement des êtres vivants. Cependant son abord est difficile en raison de sa taille microscopique et des changements d'échelle pratiques et conceptuels que cela implique. La suite du chapitre présente le parcours qui conduit à la notion de cellule et à la compréhension de son rôle, parcours qui pourrait servir de base pour des activités à l'école.

## Molécules et cellules à l'origine de la vie

Comme un être vivant a hérité ses propriétés des êtres vivants qui lui ont donné naissance, il semble naturel de se poser la question de savoir dans quelles conditions la vie est apparue. Il existe à ce sujet toutes sortes de théories qui tentent d'expliquer comment les principaux éléments (ATOMES) qui constituent les êtres vivants (carbone, hydrogène, azote, oxygène) ont pu se combiner dans les océans et l'atmosphère terrestre des origines sous l'effet de décharges électriques, de rayonnements et à l'aide de CATALYSEURS minéraux, pour former des molécules de plus en plus complexes.

Certains supposent que de telles molécules, produites ailleurs dans l'Univers, ont été importées sur Terre par des météorites. En effet, il est possible de produire de telles molécules dans des expériences simulant les conditions d'une soupe primitive, ou de les détecter dans le milieu interstellaire. Mais les molécules que l'on peut ainsi produire ou détecter sont de petite taille et ne constituent qu'un premier pas sur l'échelle de la complexité qui nous laisse en deçà du

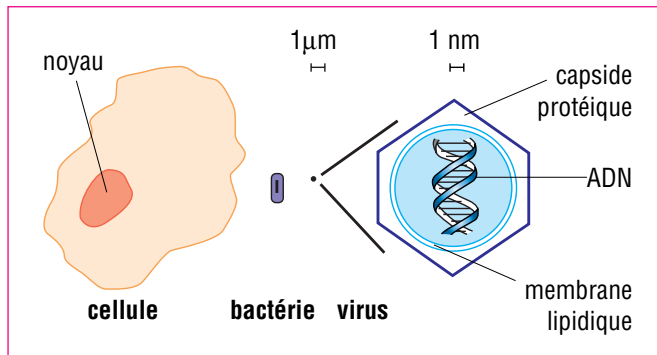
vivant tel que nous le percevons. Il reste à expliquer comment ces petites molécules ont pu donner naissance à de grandes molécules, les macromolécules, telles que les protéines, les lipides, les sucres ou les acides nucléiques dont les êtres vivants sont constitués, et comment les différents types de molécules interviennent dans les réactions biochimiques caractéristiques du vivant.

## Caractéristiques des cellules

La cellule est définie par une membrane délimitant un espace où a lieu un ensemble de réactions biochimiques, le métabolisme, sous le contrôle d'un acide nucléique, l'ADN. Il convient alors de se poser la question de savoir ce qu'il advient lorsque l'un de ces éléments vient à manquer.

Des graines peuvent rester à l'état dormant pendant des périodes prolongées, un hiver, des années ou parfois des siècles ou des millénaires. Elles sont bien constituées de cellules, avec des membranes à l'intérieur desquelles se trouve de l'ADN. Mais elles n'ont plus de métabolisme actif, car la dessiccation a éliminé l'eau qui est le milieu nécessaire pour l'exécution des réactions biochimiques. Dès que les conditions de l'environnement le permettent, le métabolisme se réactive et le cycle vital reprend.

Quant au virus, comme son nom latin l'indique, c'est un poison. On l'associe spontanément plutôt à la maladie et à la mort qu'à la vie. Il contient bien un acide nucléique tantôt ADN, comme c'est le cas du virus de l'hépatite B, tantôt ARN (acide ribonucléique), à l'exemple du VIH responsable du sida. Cet acide nucléique est empaqueté dans une enveloppe (capside) formée de protéines, parfois associée à une membrane lipidique.



Comparaison des tailles d'une cellule eucaryote dont le matériel génétique (ADN) est contenu dans un noyau, d'une bactérie qui ne contient pas de noyau (cellule procaryote), et d'un virus.

molécules de toutes tailles entre le milieu interne, ou cytoplasme, et le milieu externe. On l'appelle également membrane cytoplasmique.

Pour les organismes composés d'une seule cellule, comme les bactéries,

Mais le virus n'a pas de métabolisme propre. Ce n'est pas seulement en raison de l'absence d'un milieu aqueux favorable à la réalisation des réactions biochimiques, comme dans le cas de la graine. C'est aussi et surtout parce que l'acide nucléique du virus ne contient qu'un jeu d'instructions génétiques limité à la spécification de ses protéines de capsidite et de sa propre duplication, et qu'il est incapable de commander l'exécution de ces fabrications ou d'un métabolisme fondé sur des échanges d'énergie. C'est seulement lorsque le virus infecte une cellule qui possède tout l'équipement pour l'exécution de ces tâches qu'il peut être dupliqué et donner naissance à d'autres virus. Au passage, il détourne les ressources de la cellule-hôte, affecte son fonctionnement, éventuellement jusqu'à la tuer, ce qui peut perturber la fonction que la cellule remplit dans l'organisme au point de provoquer une pathologie.

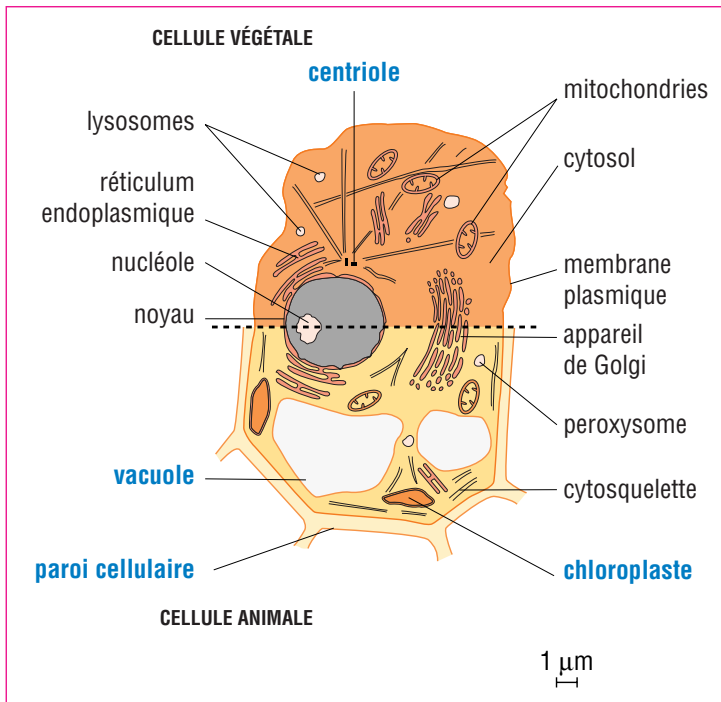
les levures et les protozoaires (organismes unicellulaires), le milieu externe, spécifique de l'organe auquel elle appartient, est l'environnement dans lequel vit la cellule. Pour les organismes plus complexes, multicellulaires comme les plantes et les animaux, le milieu externe de la cellule peut être un réseau de fibres constituant la trame d'un organe, comme le foie d'un animal ou la tige d'une plante, ou le milieu intérieur correspondant à la circulation d'un fluide (sang, lymphe, sève).

La membrane cytoplasmique est une double couche fluide de lipides phosphatés associés à des protéines et à des sucres. Les lipides n'aiment pas l'eau, ils sont hydrophobes. Cette force de répulsion assure la cohérence des membranes. Mais les groupements phosphate sont électriquement chargés et interagissent facilement avec les molécules d'eau, ils sont hydrophiles.

Parmi les nombreuses protéines qui sont ancrées dans la membrane cytoplasmique, certaines servent de canaux pour le passage sélectif d'ions comme le sodium ou le potassium, qui intervient par exemple dans la conduction de l'influx nerveux, ou de molécules simples comme les acides aminés, les sucres et les acides gras, qui sont les constituants élémentaires des protéines, des sucres complexes et des lipides assemblés dans les cellules.

## Composition et fonctionnement des cellules animales et végétales

Les cellules sont délimitées par une membrane qui n'est pas une enveloppe imperméable, une frontière infranchissable. Au contraire, elle possède des propriétés qui lui permettent de réguler les échanges de



Les principaux organites (petits corps que l'on trouve dans le cytoplasme des cellules) et les éléments de structure que l'on trouve dans une cellule animale sont représentés dans la partie haute de la figure, alors que ceux des cellules végétales sont représentés dans la partie basse. Les éléments que l'on ne retrouve que dans l'un des deux types de cellules sont en gras.

D'autres protéines fonctionnent comme des récepteurs : elles se lient à des molécules ou à des agents du milieu externe comme des hormones ou des virus ; cette fixation s'accompagne de la transmission d'un message biochimique à l'intérieur de la cellule qui provoque une réponse de celle-ci (activation d'une série de réactions biochimiques, production et sécrétion d'une hormone, réaction de défense par production d'un anticorps, etc.). On voit à travers ces exemples que les cellules interagissent avec leur environnement par l'intermédiaire de leur membrane pour s'y adapter, répondre à des modifications de cet environnement, y véhiculer des messages. C'est également par l'intermédiaire de sa membrane que la cellule peut s'ancrer de manière stable en un lieu donné, ou se déplacer au contact d'autres cellules au sein de l'organisme.

Chez les bactéries et les plantes, la membrane cytoplasmique est entourée d'une paroi composée de sucres complexes qui lui confère une résistance aux agressions et à la déformation, rigidité qui est nécessaire pour la formation des tissus végétaux par exemple.

Le cytoplasme n'est pas un milieu homogène. Les différents composants de la cellule baignent dans le cytosol. Le microscope optique permet de discerner deux types de cellules : celles qui contiennent des corpuscules visibles, dont le principal est le noyau, qu'on appelle cellules eucaryotes (protozoaires, levures, animaux, végétaux) et celles qui n'ont pas de noyau, les cellules PROCARYOTES, comme les bactéries.

Parmi les corpuscules qu'on appelle organites ou encore organelles, le noyau cellulaire est le plus important par la taille. Entouré d'une double membrane, il contient l'ADN qui est le matériel génétique assurant la transmission héréditaire des caractères et la commande du fonctionnement cellulaire.

D'autres détails ne sont visibles qu'au microscope électronique. Le nucléole est un corps dense qui est le lieu de la synthèse des ARN et de l'assemblage des ribosomes, corpuscules qui servent, après leur transport dans le cytoplasme, à la fabrication des protéines. À proximité du noyau cellulaire, on observe, dans les cellules animales seulement, un groupe de petits tubes, le centriole, qui intervient lors de la division cellulaire, comme on le verra plus loin.



Un réseau de membranes organisées en sacs aplatis et en un labyrinthe réticulé qui parcourt la cellule constitue l'appareil de Golgi et le réticulum endoplasmique. C'est le lieu de l'assemblage des lipides cellulaires (pour la partie lisse ou régulière du réseau) et des protéines destinées à être ancrées dans des membranes ou sécrétées (pour la partie rugueuse du réseau, due à la présence des ribosomes).

Un autre réseau de tubules et de filaments protéiques traverse la cellule en tous sens ; il s'agit du cytosquelette qui, comme son nom l'indique, sert de soutien à l'architecture de la cellule, mais aussi au déplacement des organites et aux mouvements de la cellule elle-même.

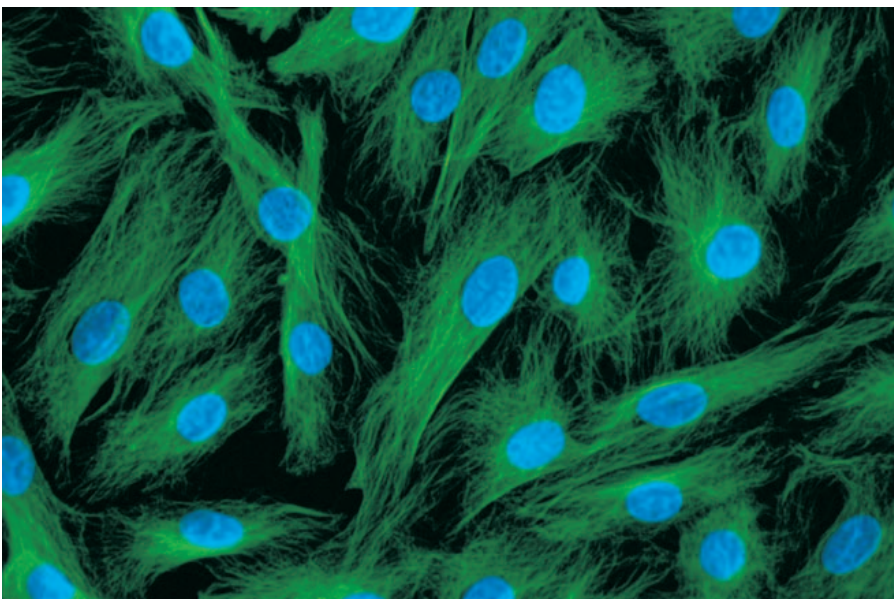
Comme le noyau cellulaire, d'autres organites plus petits sont délimités par une double membrane. Il s'agit des mitochondries que l'on trouve dans les cellules animales et végétales, et des chloroplastes, qui sont caractéristiques des plantes et qui réalisent la PHOTOSYNTHÈSE. Dans les deux cas, il s'agit de corps allongés qui ressemblent à bien des égards à des bactéries : taille similaire,

présence d'un ADN circulaire ; on pense qu'il s'agit de descendants de bactéries ayant parasité les cellules ancestrales, avant d'être capturées et utilisées pour le fonctionnement des cellules.

C'est dans les mitochondries qu'ont lieu les réactions biochimiques de la RESPIRATION CELLULAIRE, processus du métabolisme qui produit du gaz carbonique, de l'eau et de l'énergie à partir de l'oxygène et des produits de la dégradation des sucres réalisée dans le cytoplasme de la cellule. Plus la cellule est active, plus le nombre de mitochondries qu'elle contient est élevé, jusqu'à des milliers dans le foie ou les fibres musculaires.

Chez les végétaux, les chloroplastes, quant à eux, sont le lieu de la transformation de l'eau et du gaz carbonique en matière organique (matière vivante contenant du carbone) avec production d'oxygène au cours du processus de la photosynthèse. C'est l'énergie lumineuse captée par les pigments chlorophylliens qui est le moteur de cette transformation.

Comme on vient de le voir, chaque organite correspond à un compartiment de la cellule associé à une fonction spécialisée. Les réactions biochimiques, considérées dans leur ensemble, constituent le métabolisme cellulaire. Des nutriments entrent dans la cellule soit par un transport actif à travers des canaux spécialisés s'il s'agit de petites molécules, soit par la formation de



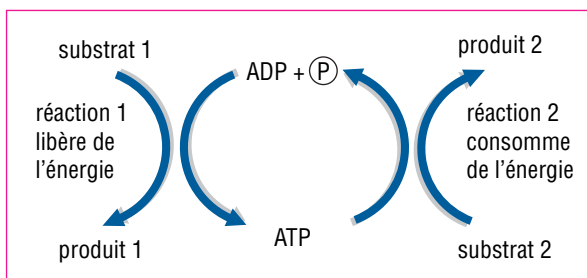
Noyaux cellulaires et fibres du cytosquelette vus au microscope à fluorescence  
© CNRS/photo A. Fernandez

poches membranaires (invaginations) pour des corps plus importants. Un exemple d'invagination est celui des globules blancs qui PHAGOCYSENT – absorbent – les bactéries attaquant l'organisme. Les éléments ayant pénétré dans la cellule sont digérés.

La dégradation en molécules de taille de plus en plus réduite se poursuit dans le cytoplasme par un ensemble de réactions comme la glycolyse (dégradation du glucose) et la fermentation (dégradation de glucose sans utilisation d'oxygène). Ces réactions aboutissent au transfert de l'énergie chimique des molécules en ATP (adénosine triphosphate), molécule qui constitue la monnaie énergétique de la cellule. Ce transfert est poursuivi et amplifié dans les mitochondries par la respiration cellulaire, qui produit la plus grande partie de l'ATP.

Le CATABOLISME est étroitement couplé à l'ANABOLISME (figure ci-contre). En effet, l'énergie et les petites molécules produites lors du catabolisme sont le point de départ des réactions d'assemblage des macromolécules spécifiques de la cellule :

– duplication de l'ADN avant la division



Le catabolisme est l'ensemble des réactions de dégradation au cours desquelles les molécules complexes sont détruites. L'anabolisme, par contre, est l'ensemble des réactions de synthèse au cours desquelles des molécules complexes sont produites à partir de molécules plus simples. Les réactions biochimiques du catabolisme, qui libèrent de l'énergie, et celles de l'anabolisme, qui en consomment, sont étroitement couplées par l'intermédiaire de la PHOSPHORYLATION (gain d'un ion phosphate) de l'ADP (adénosine diphosphate) en ATP, la monnaie énergétique de la cellule.

cellulaire et transcription de l'ADN en ARN dans le noyau, à partir des unités de base que sont les nucléotides,

– traduction des ARN messagers en protéines par assemblage des acides aminés par les ribosomes,

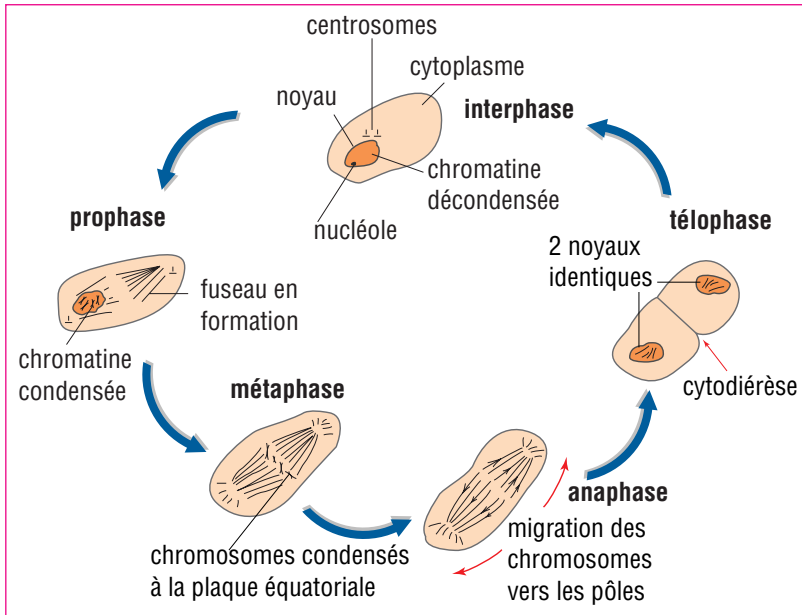
– synthèse de sucres et de lipides complexes à partir des sucres élémentaires et des acides gras, notamment dans le réticulum endoplasmique, etc.

Toutes les réactions biochimiques du métabolisme font intervenir des enzymes, protéines qui agissent comme des catalyseurs (substance chimique qui accélère une réaction sans être elle-même consommée au cours de cette réaction) pour faciliter l'exécution des transformations requises. Ces réactions sont organisées en un réseau complexe finement régulé de manière à répondre aux besoins de la cellule et aux modifications de son environnement. Ainsi, loin d'être un espace clos, la cellule est un lieu d'échange et d'interaction avec le milieu extérieur.

## Division cellulaire, différenciation et développement

Les bactéries se multiplient par un processus de division simple : après que la cellule a doublé de taille et que son ADN circulaire a été dupliqué, puis réparti aux deux pôles de la cellule, celle-ci est divisée en deux par extension de la membrane dans la partie centrale.

Dans le cas des cellules eucaryotes, si le principe général est semblable, les modalités sont plus complexes, car il est nécessaire de dupliquer le noyau qui contient le matériel génétique, l'ADN réparti en plusieurs chromosomes, chacun présent en deux exemplaires. Le nombre des chromosomes



Les différentes phases de la division cellulaire, ou mitose, qui, à partir d'une cellule, donne naissance à deux cellules.

de la cellule. Finalement, lors de la **télophase**, chaque jeu complet de  $2n$  chromosomes est entouré d'une nouvelle membrane nucléaire et les chromosomes se décondensent.

L'ensemble des phases de duplication du noyau et des chromosomes constitue la mitose, processus essentiel de la division

est caractéristique de chaque espèce, par exemple  $2n = 46$  chez l'Homme. Entre les divisions cellulaires, la chromatine se décondense et on ne distingue alors plus les chromosomes ; c'est l'interphase. L'ADN est dupliqué pendant la fin de l'interphase, lors de la préparation de la division cellulaire. Puis chaque chromosome qui reste lié à son double se condense et devient visible au microscope. Simultanément, il se forme un réseau de filaments en forme de fuseau qui pointe vers les pôles opposés de la cellule. Après cette phase initiale, ou prophase, la double membrane qui entoure le noyau cellulaire disparaît, et les chromosomes condensés se déplacent le long du fuseau pour se regrouper dans le plan équatorial de la cellule : c'est la métaphase, stade propice à l'observation des chromosomes, par exemple pour détecter des anomalies de structure ou de nombre (trisomie).

Lors de la phase suivante, ou anaphase, les chromosomes dédoublés se séparent, la cellule contient alors  $4n$  chromosomes individualisés. Deux exemplaires de chaque type migrent vers l'un des pôles

cellulaire. Celle-ci s'achève, après que la cellule a grandi en taille, par la partition en deux cellules, suite à l'extension de la membrane cytoplasmique dans la partie intermédiaire (cytodiérèse).

Le processus de division cellulaire peut être répété un certain nombre de fois, mais ce nombre n'est pas illimité. Généralement, après une trentaine de divisions successives, le processus s'arrête. Cela semble résulter à la fois d'un contrôle génétique de la capacité de prolifération des cellules, et de l'accumulation d'erreurs lors des divisions successives. Dans un organisme donné, les cellules se divisent en fonction des besoins du moment : croissance, développement ou réparation d'une blessure. Le processus de duplication de l'ADN et des chromosomes est très précis, et la cellule dispose même d'un système de détection et de réparation des erreurs qui surviennent et parvient ainsi à les corriger presque toutes. Cependant, un petit nombre de ces erreurs subsistent, et d'autres sont induites par des événements extérieurs : radiations ionisantes, rayonnement ultraviolet, agents chimiques, virus.

Si ces erreurs touchent le contrôle de la prolifération cellulaire, il s'ensuit des modifications dans le noyau et l'apparition de cancers.

La division cellulaire par mitose est le mode de reproduction asexué de nombreux organismes eucaryotes, y compris parmi les plus complexes comme les plantes. Elle conduit à la formation de clones d'individus très semblables, mais pas parfaitement identiques, car un petit nombre de mutations sont toujours présentes. À l'opposé, la reproduction sexuée conduit à introduire une dose plus importante de différence, et surtout de nouveauté, c'est pourquoi on l'appelle procréation. Elle fait appel à un processus de division cellulaire particulier, la méiose, au cours duquel se forment les cellules sexuelles, ovules et spermatozoïdes, aussi appelées gamètes. À l'issue des deux divisions cellulaires de la méiose, les gamètes ne contiennent plus qu'un jeu de chromosomes, et ces chromosomes ont subi des remaniements conduisant à mélanger des segments d'ADN issus de la lignée paternelle et de la lignée maternelle. Autrement dit, le nombre de chromosomes est réduit de moitié, et ces chromosomes sont nouveaux.

Cette situation est mise à profit lorsqu'un ovule et un spermatozoïde se rencontrent lors de la fécondation : l'œuf qui est formé est une nouvelle cellule, avec deux jeux de chromosomes après que les noyaux de l'ovule et du spermatozoïde ont fusionné. L'individu qui résultera du développement de cet œuf sera lui-même nouveau, identique à nul autre ayant vécu auparavant, car issu du brassage génétique au cours de la méiose, sorte de tirage au sort chromosomique parmi une multitude de possibilités.

Après la fécondation, la cellule œuf commence à se diviser par le processus de la mitose.

Aux premiers stades du développement, les cellules sont en mesure d'utiliser toute l'information génétique qu'elles contiennent et sont toutes capables de donner naissance à un organisme entier, on dit qu'elles sont totipotentes. Ainsi, si une segmentation de l'œuf intervient naturellement, ou si elle est provoquée artificiellement, on obtiendra deux individus jumeaux. Après quelques divisions, on voit apparaître des propriétés distinctes pour les différentes cellules de l'embryon. C'est le début de la différenciation qui intervient à des stades variables mais précisément définis pour chaque espèce. Simultanément, chez les espèces animales, les potentialités des cellules se restreignent. Certaines, les cellules souches, conservent un potentiel important pour assurer l'alimentation des lignages cellulaires responsables de la formation de systèmes organiques complexes : lignées hématopoïétiques pour le système sanguin (globules rouges, globules blancs, plaquettes, macrophages), lignée germinale pour le système de reproduction sexuée (ovules, spermatozoïdes) ; lignées neuronales ou musculaires, etc. L'équilibre entre les différents lignages issus d'une même cellule souche et son potentiel de différenciation dépend du contexte dans lequel elle se trouve. Jusqu'à récemment, on considérait que, chez les animaux, contrairement à ce qui se passe chez les plantes, qui peuvent se régénérer à partir d'à peu près n'importe quel type cellulaire, plus une cellule était différenciée, plus ses potentialités de régénérescence étaient réduites de manière irréversible. Cela devait rendre impraticable le clonage par

remplacement du noyau d'un ovocyte par celui d'une cellule différenciée.

Cependant, des observations récentes ont montré que les cellules les plus différenciées conservaient des potentialités inattendues : des neurones dont on pensait qu'ils arrêtaient de se diviser au cours du développement embryonnaire se remettent à proliférer à la suite d'une lésion, et peuvent même être à l'origine de la formation de cellules sanguines. Cela explique le succès des tentatives de clonage par transfert de noyau qui ont été obtenues après que la cellule donneuse de noyau a été conditionnée par un traitement adéquat (privation de nutriment associée à un choc électrique).

Mais, là aussi, les individus clonés ne sont pas parfaitement identiques à l'animal sur lequel a été prélevé le noyau cellulaire, en raison des quelques mutations qui sont intervenues au cours des divisions cellulaires. Ils ne sont pas non plus identiques dans leur apparence, car l'expression de caractères dépend certes du matériel

génétique, mais elle est largement modulée par les conditions de l'environnement, qui varient légèrement pour chaque individu au cours du développement et s'amplifient après la naissance.

## Conclusion

Quel que soit l'angle sous lequel on l'aborde, la vie s'accompagne d'une certaine dose de différence. Ce sont les quelques erreurs qui interviennent lors de la transmission de la vie qui sont à l'origine du processus de l'évolution. Les mutations qui surviennent lors de la formation des gamètes peuvent modifier une fonction existante ou en faire apparaître une nouvelle. Cela peut aboutir à une pathologie à transmission héréditaire ou à la naissance d'une nouvelle espèce. Pour réduire à zéro la différence, il n'y a qu'un seul moyen : détruire la vie elle-même. La voie est étroite entre le mythe de l'identité parfaite et le désir de combattre les maladies.

## Et pour aller plus loin, quelques questions d'enseignants

**Quelle a été la première cellule ? Sait-on quand est-elle apparue ?**

C'est dans des roches terrestres que l'on a repéré les premières traces de cellules, des bactéries fossilisées. Il semble donc que les réactions biochimiques et les cellules soient apparues à la même époque, ce qui suggère qu'il s'agit de deux manifestations indissociables de la vie.

**Y a-t-il une différence entre une cellule vivante et la vie ? Peut-on fabriquer du vivant à partir de l'ensemble des molécules constitutives du vivant ?**

Aujourd'hui, en dépit des progrès réalisés dans la connaissance de la structure et du fonctionnement des êtres vivants, notre compréhension du processus et des conditions qui ont abouti à l'apparition de la vie reste limitée à des scénarios plus ou moins vraisemblables, et nous ne sommes pas en mesure de reproduire ce processus en laboratoire pour « fabriquer » du vivant à partir de ses éléments.

**Un globule rouge est-il vivant ?**

Il paraît incongru de se poser la question de savoir si un globule rouge est vivant, tant le sang est associé symboliquement à la vie et à la mort. Pourtant, le globule rouge ne contient

pas d'acide nucléique, et ne peut donc plus se diviser. Ce n'est plus qu'une sorte de sac plein d'hémoglobine, spécialisé dans le transport sanguin de l'oxygène et du gaz carbonique vers les poumons au cours de la respiration. En réalité, il convient de dire qu'il ne contient plus d'ADN, car il est issu de la division d'une cellule sanguine, l'érythroblaste, qui, elle, contient de l'ADN. Simplement, à l'étape ultime de la différenciation de ce lignage cellulaire, il y a perte du noyau cellulaire qui contient l'ADN. Le globule rouge qui en résulte, ou érythrocyte, est confiné dans un rôle spécialisé et vital, puis il disparaît après environ trois mois de bons et loyaux services.

### Qu'est-ce que la mort programmée des cellules ?

Pour éviter que l'accumulation de modifications du matériel génétique n'affecte le fonctionnement des cellules, des organes et de l'organisme, il existe un mécanisme génétiquement programmé de mort cellulaire appelé « apoptose », qui intervient également à des stades spécifiques du développement.

L'apoptose tire son nom de la chute des feuilles, car c'est à ce stade de la vie des plantes qu'elle a été découverte. Il s'agit d'un mécanisme très général dans le monde vivant, qui permet notamment d'éliminer les cellules en surnombre lors de la formation des doigts ou du cerveau, par exemple. Une apoptose exagérée de certains globules blancs, les lymphocytes T4, semble induite par le VIH et participe à l'immunodéficience du sida. Une apoptose trop réduite peut être à l'origine de cancers. Des travaux récents montrent que le contrôle de l'apoptose passe par un dialogue entre le noyau cellulaire et les mitochondries qui fait écho à la relation hôte-parasite.

### Bibliographie

Fabienne COSTES et Guillaume LONG, *La Cellule*, KSTR éditeur, 2008.

Gilles MASCAGNO, *Mille milliards de cellules !*, Ellipses, 2001.

Laurent DEGOS, *Mon corps : cent mille milliards de cellules*, « Les minipommes », n°2, Le Pommier, 2005.

### Sur la Toile

L'article « cellule » de Wikipedia :  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Cellule>

Cette ressource est issue de l'ouvrage *29 notions clés pour savourer et faire savourer la science*, paru aux Éditions Le Pommier.



## Le meilleur des Graines de sciences

Vous êtes enseignant, parent, éducateur... et vous manquez parfois de « munitions » pour répondre aux questions des enfants...

Or, en classe, à la maison, au centre de loisirs, celles-ci fusent : « Le Soleil va-t-il s'éteindre ? » « Est-ce qu'il y a des tremblements de terre sous la mer ? » « Où va l'eau qui tombe du ciel ? » « Pourquoi le ciel est-il bleu le jour ? » « Qu'est-ce que l'effet de serre ? » « Pourquoi les animaux migrent-ils ? » « C'est quoi le clonage ? »

Cet ouvrage de référence va vous aider à répondre à ce bombardement de curiosité... en toute connaissance de cause !

Fruit d'une rencontre entre des scientifiques et des enseignants, désireux de partager savoir et expérience, il est précisément conçu pour vous permettre d'acquiescer ou d'approfondir une culture scientifique, si précieuse pour appréhender le monde qui nous entoure... et pour l'expliquer !

Du Soleil à la cellule, du cycle de l'eau aux énergies renouvelables, de l'origine de l'homme au nanomonde, les 29 notions réunies dans ce volume constituent le bagage indispensable pour pérégriner, avec les enfants, en sciences, et ce, de la maternelle au collège. On les retrouve d'ailleurs dans le Socle commun de connaissances et de compétences, qui définit ce que l'école puis le collège doivent, en France, s'imposer de transmettre à tous les enfants.



### Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes  
75006 Paris  
01 85 08 71 79  
contact@fondation-lamap.org

Site : [www.fondation-lamap.org](http://www.fondation-lamap.org)

 FONDATION  
**La main à la pâte**  
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE