

BIOLOGIE CELLULAIRE

EXERCICES ET MÉTHODES

Licence • PACES • CAPES

Sous la direction de **Marc Thiry**
Professeur à l'université de Liège (Belgique)

■ **Sandra Racano**
Diplômée de l'université de Liège (Belgique)

■ **Pierre Rigo**
Diplômé de l'université de Liège (Belgique)

DUNOD

Tout le catalogue sur
www.dunod.com



Illustration de couverture

Portion d'un épithélium œsophagien d'une larve de triton. Deux types de cellules sont visibles : des cellules de recouvrement pourvues de cils au niveau apical et des cellules productrices de mucus (les grains de mucus sont colorés en bleu). Les noyaux cellulaires sont colorés en rouge. Photographie de Nicolas Thelen.

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2014

5, rue Laromiguière, 75005 Paris

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-070711-9

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

<i>Avant-propos</i>	5	
<i>Comment utiliser cet ouvrage</i>	6	
<i>Remerciements</i>	8	
1	Unicité chimique du vivant	9
	QCM	18
	Vrai ou faux	24
	Exercices.....	29
	Schéma de synthèse : La composition chimique des êtres vivants	34
2	Unicité structurale du vivant et méthodes d'étude de la cellule	35
	QCM	45
	Vrai ou faux	51
	Exercices.....	54
	Schémas de synthèse : Unicité structurale du vivant	58
	Les méthodes d'étude de la cellule	59
3	La périphérie cellulaire	61
	QCM	71
	Vrai ou faux	76
	Exercices.....	83
	Schéma de synthèse : La périphérie cellulaire des eucaryotes	92
4	Le noyau	93
	QCM	103
	Vrai ou faux	108
	Exercices.....	114
	Schéma de synthèse : Le noyau	119
5	Le réticulum endoplasmique et les ribosomes	121
	QCM	130
	Vrai ou faux	135
	Exercices.....	139
	Schéma de synthèse : Le réticulum endoplasmique et les ribosomes	148
6	L'appareil de Golgi	149
	QCM	153
	Vrai ou faux	156
	Exercices.....	160
	Schéma de synthèse : L'appareil de Golgi	162

7	Les lysosomes	163
	QCM	169
	Vrai ou faux	172
	Exercices.....	176
	Schéma de synthèse : Les lysosomes	179
8	Les peroxysomes	181
	QCM	185
	Vrai ou faux	187
	Exercices.....	190
	Schéma de synthèse : Les peroxysomes	192
9	Les mitochondries	193
	QCM	203
	Vrai ou faux	207
	Exercices.....	212
	Schémas de synthèse : Métabolisme énergétique	217
	Les mitochondries	218
10	Les chloroplastes	219
	QCM	230
	Vrai ou faux	234
	Exercices.....	238
	Schéma de synthèse : Les chloroplastes	242
11	Les filaments cellulaires	243
	QCM	253
	Vrai ou faux	256
	Exercices.....	261
	Schéma de synthèse : Les filaments cellulaires	264
12	Les procaryotes	265
	QCM	273
	Vrai ou faux	276
	Exercices.....	280
	Schéma de synthèse : Les procaryotes	285
13	La multiplication cellulaire	287
	QCM	297
	Vrai ou faux	301
	Exercices.....	308
	Schémas de synthèse : Cycle, mort et rythmes cellulaires chez les eucaryotes	314
	La division cellulaire chez les eucaryotes et chez les procaryotes	315
14	La reproduction des organismes	317
	QCM	328
	Vrai ou faux	332
	Exercices.....	337
	Schéma de synthèse : La reproduction des organismes	343
	La reproduction sexuée	344
	<i>Annexes</i>	345
	<i>Index</i>	348

Avant-propos

Le véritable enseignement n'est point de te parler mais de te conduire.
Antoine de Saint Exupéry

Ce livre a été conçu comme un outil pédagogique pour aider les étudiants des premières années d'études supérieures à appréhender les concepts fondamentaux de la biologie cellulaire. Une série d'exercices incite l'étudiant à se poser des questions sur la matière et complète ainsi progressivement ses connaissances.

L'ouvrage présente en quatorze chapitres les bases de la biologie cellulaire, en commençant par un exposé sur l'unicité chimique des êtres vivants, une présentation des plans d'organisation du vivant et des méthodes d'investigation de la cellule qui sont le point de départ du progrès des connaissances dans le domaine. Les différents compartiments structuraux et fonctionnels de la cellule eucaryote sont ensuite abordés successivement, de la membrane plasmique aux filaments cellulaires en passant par le noyau et les différents organites. L'organisation morpho-fonctionnelle de la cellule procaryote fait l'objet du chapitre suivant. L'ouvrage se termine par deux chapitres consacrés à la continuité de la vie, le premier sur le cycle, la division et la mort cellulaires et l'autre sur la reproduction des organismes et la différenciation cellulaire.

Ce découpage est nécessairement arbitraire, c'est pourquoi dans chaque chapitre présentant une notion précise, de multiples renvois permettent au lecteur de se référer rapidement aux données associées à la question traitée.

Chaque chapitre débute par un **rappel théorique synthétique, sous forme de fiches**, accompagné

de schémas didactiques destinés à faciliter la compréhension des données et leur mémorisation. Puis, de **nombreux exercices** de différents types (QCM, questions Vrai/Faux et exercices de synthèse) et de difficulté croissante, sont proposés afin d'évaluer ses connaissances et d'appliquer les concepts fondamentaux de la biologie cellulaire. Chaque QCM fait l'objet d'une correction commentée. Les questions Vrai/Faux jouissent également d'une réponse détaillée et les exercices de synthèse bénéficient de **conseils méthodologiques** pour aider l'étudiant à construire une réponse. Un ou deux **schémas de synthèse** à la fin de chaque chapitre relient les différentes notions abordées pour aider à une réflexion plus globale.

Des bonus web (exercices d'entraînement supplémentaires), téléchargeables sur la page associée à l'ouvrage sur dunod.com complètent l'ouvrage.

Cet ouvrage de biologie cellulaire est destiné aux étudiants de licence de Sciences de la vie et de la PACES et aux candidats au CAPES de SVT (en France) ainsi qu'aux étudiants du premier Bachelier des Facultés de Sciences, de Médecine et de Médecine vétérinaire (en Belgique). Il pourra aussi être consulté avantageusement par tous ceux qui ressentent le besoin de mettre à jour leurs connaissances dans un domaine en perpétuelle évolution, et qui est devenu indispensable à la compréhension des grandes fonctions biologiques et à celle de leurs désordres.

Comment utiliser

Unicité chimique du vivant

1

MOTS-CLÉS

- éléments chimiques
- molécules inorganiques
- eau
- sels minéraux
- molécules organiques
- glucides
- polysaccharides
- lipides
- acides gras
- triglycérides
- phospholipides
- stéroïdes
- protéines
- acides Aminés
- acides nucléiques
- nucleotides
- ADN
- ARN



Trois gouttelettes lipidiques dans le cytoplasme d'une cellule épithéliale tapissant une alvéole pulmonaire chez le rat. MÉT. Cliché : prof. Marc Thiry.

14 chapitres et leurs mots-clés

Retrouvez des exercices supplémentaires sur la page associée à l'ouvrage sur dunod.com



Des rappels de cours sous forme de fiches

Fiche 1

Le réticulum endoplasmique

Définition
Le réticulum endoplasmique est un système de cavités (ou cisternes) limitées par une simple membrane comprenant deux compartiments qui communiquent l'un avec l'autre : le **réticulum endoplasmique lisse (REL)** et le **réticulum endoplasmique granuleux (REG)**.

Ces deux compartiments ont un constituant commun de type membranaire, mais ils diffèrent par la forme des cavités et par la présence sur la face externe de celles-ci, dans le cas du REG, de ribosomes.

Le REL est formé d'un « labyrinthe » de fins canalicules interconnectés caractérisés par l'absence de ribosomes. Ce type de réticulum est fortement développé dans les cellules synthétisant des stéroïdes et dans les cellules musculaires. Au sein de ces dernières, il porte le nom de réticulum sarcoplasmique et permet le stockage des ions calcium, mais aussi leur libération quand les cellules se contractent (voir Chapitre 11).

Le REG a une organisation sacculaire : ses membranes sont recouvertes de ribosomes. La membrane du REG est en continuité avec la membrane externe du noyau. Il est particulièrement abondant dans les cellules sécrétrices, les plasmocytes (globules blancs) et les neurones. Dans les cellules nerveuses, les cisternes du REG sont rassemblées autour du noyau sous la forme d'agréats appelés corps de Nissl.

La membrane du réticulum endoplasmique
L'architecture moléculaire des membranes du réticulum est semblable à celle de la membrane plasmique (bicoque lipidique et protéines, voir Chapitre 3). Toutefois, les protéines sont en plus grande quantité que dans la membrane plasmique (70 % au lieu de 60 %). Ces membranes possèdent notamment des enzymes nécessaires à la synthèse des protéines, au métabolisme des lipides et aux phénomènes de détoxication.

Fiche 2

Les ribosomes

Les ribosomes sont des particules ribonucléoprotéiques (ou RNP) constituées d'ARN couplés à des protéines. Certains, appelés **ribosomes liés**, sont accolés à la face cytosolique des membranes du réticulum ou de la membrane externe de l'enveloppe nucléaire, d'autres, baptisés **ribosomes libres**, baignent au sein du cytosol. Ils assurent la synthèse des protéines en assemblant des acides aminés dans un ordre prédéterminé, suite à la lecture d'un ARNm.

Les ribosomes sont constitués de deux sous-unités de dimensions inégales qui sont désignées en fonction de leur coefficient de sédimentation :

- la **petite sous-unité** a un coefficient de sédimentation de 40S (30S chez les procaryotes). Elle est constituée d'une molécule d'ARNr 16S (16S chez les procaryotes) et de 33 protéines ribosomiques (21 chez les procaryotes). Cette sous-unité contient le site d'attachement 3' l'ARNm ;
- la **grande sous-unité** possède un coefficient de sédimentation de 60S (50S chez les procaryotes) et est composée de trois molécules d'ARNr (23S, 5.8S et 5S) et de 46 protéines ribosomiques (34 chez les procaryotes). Chez les procaryotes, en plus de ces 34 protéines ribosomiques, la petite sous-unité n'est formée que de deux molécules d'ARNr (23S et 5S).

Les sous-unités du ribosome présentent trois sites de liaison aux ARNi (Figure 5.1) :

- le **site A** retient l'ARNi qui porte le prochain acide aminé qui sera ajouté à la chaîne polypeptidique naissante (on peut associer la lettre A à « arrivé de l'acide aminé ») ;
- le **site P** retient l'ARNi porteur de la chaîne peptidique en cours de synthèse (on peut associer la lettre P à « polypeptide en voie de formation ») ;
- le **site E** est l'endroit où l'ARNi déchargé de son acide aminé quitte le ribosome (on peut associer la lettre E à « exit »).

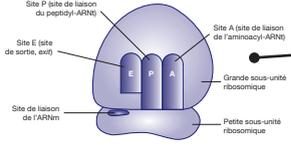


Figure 5.1 Schéma d'un ribosome

Le ribosome fonctionnel, c'est-à-dire composé des deux sous-unités réunies, a un coefficient de sédimentation de 80S (70S chez les procaryotes). La taille des ribosomes est d'environ 25 à 30 nm (20 nm chez les procaryotes).

Unité S, pour Svedberg, est une unité de mesure du coefficient de sédimentation qui dépend des propriétés hydrodynamiques de la particule. Les unités S ne s'additivent : le coefficient de sédimentation d'une particule composée de deux sous-particules ne sera donc pas égal à la somme de leurs deux coefficients de sédimentation.

En plus des ribosomes cytosoliques, les mitochondries et les chloroplastes renferment également des ribosomes de type procaryotique (voir Chapitres 9 et 10).

Fiches QCM Exercice Vrai ou faux ? 5. Le réticulum endoplasmique

De nombreux schémas

Des astuces et conseils

Remerciements

Je remercie très vivement tous ceux qui depuis plusieurs années contribuent au bon fonctionnement du cours de biologie cellulaire dispensé aux étudiants du premier bachelier en Sciences, à l'université de Liège. Il s'agit en particulier du collectif enseignant de la faculté des Sciences et des assistants qui encadrent les séances d'aide à l'étude et les travaux pratiques : Pierre Balthasart, Sébastien Brouwers, Philippe Compère, Nadine Coosemans, Véronique Goosse, Alain Hambuckers, Marielle Lebrun, Dorothée Pete, Ludovic Sottiaux, Nicolas Thelen et Marie-France Versali.

Je tiens également à témoigner ma sincère reconnaissance à toute l'équipe du projet « 1, 2, 3... Sciences » et surtout à Françoise Bastin, Rudi Cloots et Nicolas Vandewalle, avec lesquels je partage depuis 2008 les tribulations de l'enseignement en première année du bachelier en Sciences.

Un tout grand merci à l'unité de didactique des sciences biologiques et en particulier à Marie-Noëlle Hindryckx et Corentin Poffé pour leur soutien dans ma démarche pédagogique.

Je remercie bien sûr tous mes collaborateurs grâce auxquels j'ai pu enrichir et diversifier mes connaissances en biologie cellulaire. Je pense en particulier aux membres de mon unité de recherche en biologie cellulaire et tissulaire du GIGA-Neurosciences : Marie Cloes, Nicolas Johnen, Patricia Piscicelli et Justine Renauld.

Je souhaite associer à cet ouvrage tous les relecteurs qui ont accepté de nous prodiguer leurs précieux commentaires et conseils, chacun dans leurs spécialités, sur les différents chapitres du livre. Je les en remercie chaleureusement. Il s'agit de :

- Prof. Blondel Marc, université de Bretagne Occidentale (Brest), faculté de médecine des sciences de la santé, laboratoire de génétique, génomique fonctionnelle et biotechnologies,
- Prof. Castronovo Vincenzo, université de Liège, faculté de médecine, département des sciences biomédicales et précliniques, biologie générale et cellulaire et laboratoire de recherche sur les métastases,
- Prof. Caudron Nicolas, université Joseph Fourier - Grenoble I, UFR de chimie et de biologie (Valence), dynamique cellulaire et cytosquelette,

- Prof. Dommès Jacques, université de Liège, faculté des sciences, département des sciences de la vie, biologie moléculaire et biotechnologie végétales,
- Prof. Joris Bernard, université de Liège, département des sciences de la vie, physiologie et génétique bactériennes,
- Prof. Laurent Michel, université Paris-Sud d'Orsay XI, UFR Sciences, département de biologie, laboratoire de dynamiques cellulaires et modélisation,
- Prof. Nüsse Olivier, université Paris-Sud d'Orsay XI, UFR Sciences, signalisation calcique et interactions cellulaires dans le foie,
- Dr O'Donohue Marie-Françoise, université Paul Sabatier Toulouse 3, laboratoire de biologie moléculaire eucaryote,
- Prof. Peulen Olivier, université de Liège, faculté de médecine, département des sciences biomédicales et précliniques, laboratoire de recherche sur les métastases,
- Prof. Ploton Dominique, université de Reims Champagne-Ardenne, UFR de médecine et de pharmacie, matrice extracellulaire et dynamique cellulaire,
- Prof. Polette Myriam, université de Reims Champagne-Ardenne, plasticité de l'épithélium respiratoire dans les conditions normales et pathologiques,
- Prof. Pascal Poncin, université de Liège, faculté des sciences, département de biologie, écologie et évolution, biologie du comportement - éthologie et psychologie animale,
- Prof. Portetelle Daniel, université de Liège, faculté de Gembloux Agro-Bio Tech, chimie et bio-industries, microbiologie et génomique,
- Prof. Remacle Claire, université de Liège, département des sciences de la vie, unité de génétique,
- Prof. Roingeard Philippe, université François Rabelais (Tours), UFR de médecine, biologie cellulaire et virologie.

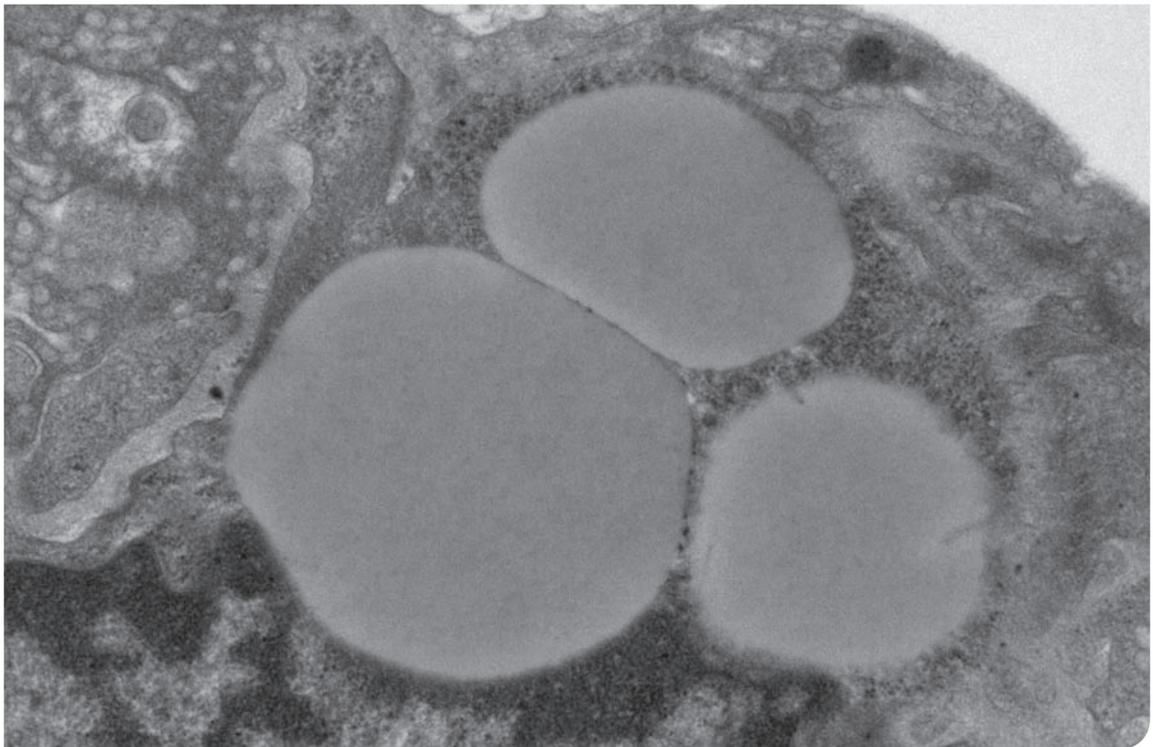
Je termine en exprimant toute ma gratitude à mes deux assistants pédagogiques avec lesquels j'ai partagé cette belle expérience : Sandra qui a lancé le travail avec son esprit de synthèse et son sens critique aiguisé, et Pierre qui a assuré l'essentiel du travail avec son grand enthousiasme, sa fraîcheur, sa disponibilité, sa rigueur et son ouverture d'esprit.

Unicité chimique du vivant

1

MOTS-CLÉS

- éléments chimiques
- molécules inorganiques
- eau
- sels minéraux
- molécules organiques
- glucides
- polysaccharides
- lipides
- acides gras
- triglycérides
- phospholipides
- stéroïdes
- protéines
- acides aminés
- acides nucléiques
- nucléotides
- ADN
- ARN



Trois gouttelettes lipidiques dans le cytoplasme d'une cellule épithéliale tapissant une alvéole pulmonaire chez le rat. MET. Cliché : Prof. Marc Thiry.

Les éléments chimiques

Sur la planète Terre, il existe 94 **éléments chimiques** naturels qui diffèrent entre eux par le nombre de protons au sein de leur noyau atomique. Ce critère est utilisé dans le tableau périodique de Mendeleïev pour classer les différents éléments chimiques. Dans celui-ci, le nombre de protons est appelé numéro atomique (Z) et les éléments chimiques sont classés par numéro atomique croissant.

La composition élémentaire de la matière vivante est très différente de celle de la lithosphère et de l'atmosphère. Ainsi, moins de la moitié des 94 éléments chimiques trouvés sur la planète Terre sont retrouvés chez les organismes vivants.

De plus, la distribution de ces éléments dans les organismes vivants n'est pas nécessairement proportionnelle à leur distribution dans la croûte terrestre. Dans cette dernière, les quatre éléments les plus abondants sont, dans l'ordre, l'oxygène (O), le silicium (Si), l'aluminium (Al) et le fer (Fe). Dans les organismes vivants, l'oxygène (O), le carbone (C), l'hydrogène (H), et l'azote (N) représentent environ 95 % de la masse de la plupart des cellules. Ainsi, l'oxygène est l'élément chimique le plus abondant dans les deux cas, mais les trois autres diffèrent.

L'oxygène, le carbone, l'hydrogène et l'azote présentent la propriété de former des liaisons covalentes entre eux en mettant en commun une paire d'électrons. De plus, puisque la force d'une liaison covalente est inversement proportionnelle au poids atomique des atomes liés et que ces quatre éléments font partie des plus légers, ils sont donc capables de former des liaisons covalentes très fortes.

Enfin, le reste de la masse des cellules vivantes est constitué de calcium (Ca), phosphore (P), potassium (K), soufre (S), sodium (Na), chlore (Cl), magnésium (Mg) et d'une dizaine d'autres éléments qui s'y trouvent à l'état de traces. Ces éléments représentent donc environ 5 % de la masse et sont appelés les oligo-éléments. Chacun de ceux-ci est toutefois indispensable au bon fonctionnement de l'être vivant.

Les composés inorganiques et organiques

L'eau et les autres molécules inorganiques

Les molécules inorganiques sont toutes les molécules sans squelette fait d'atomes de carbones liés à de l'hydrogène, par exemple le gaz carbonique (CO_2), l'eau (H_2O)...

La vie est dépendante de l'**eau**. Toutes les réactions du métabolisme de l'être vivant se déroulent en milieu aqueux. L'eau est le constituant le plus abondant de la matière vivante. Elle représente environ 75 % du poids total d'un individu. L'eau est une molécule polaire, ce qui en fait un bon solvant. Cette propriété est le résultat d'une différence d'électronégativité entre les différents atomes de l'eau. L'électronégativité peut être définie comme la capacité d'un élément chimique à attirer les électrons d'un autre élément chimique. Ainsi, puisque l'électronégativité de l'atome d'oxygène (O) est plus haute que celle de l'hydrogène (H), l'eau présente un dipôle électrique permanent. Cette polarité lui permet de réaliser des liaisons hydrogène intermoléculaires.

Les **sels minéraux** se présentent sous deux formes dans la matière vivante. Ils se retrouvent d'une part dans la constitution de structures peu ou pas solubles (squelettes, coquilles et carapaces), mais aussi en solution, dissociés en ions. Dans la cellule, un équilibre finement régulé est maintenu entre les différentes concentrations d'ions. Une minime variation de la balance ionique peut avoir des effets désastreux sur l'être vivant. À titre d'exemples, les ions interviennent notamment dans l'excitabilité neuromusculaire, dans les effets osmotiques, comme cofacteurs de certaines protéines, etc.

Les molécules organiques

Un composé chimique est dit organique lorsqu'il possède au moins un atome de carbone lié au minimum à un atome d'hydrogène. Les composés organiques présentent une haute diversité structurelle et fonctionnelle, ainsi qu'une forte stabilité grâce aux propriétés spécifiques de liaison de l'atome de **carbone**, sa valence lui permettant notamment de former quatre liaisons covalentes avec d'autres atomes.

Les composés organiques jouent un rôle important dans les réactions chimiques du vivant. Les biomolécules organiques se classent en quatre grands groupes : glucides, lipides, protéines et acides nucléiques. Certains glucides, les protéines et les acides nucléiques sont des polymères, c'est-à-dire des molécules constituées d'un grand nombre d'unités structurales identiques ou semblables, les monomères, unis par des liaisons covalentes.

Bien que les classes de polymères diffèrent par la nature de leurs monomères, les mécanismes chimiques par lesquels les cellules synthétisent ou dégradent les macromolécules sont identiques. Il s'agit respectivement d'une réaction de condensation, dans laquelle deux monomères se lient par une liaison covalente et libèrent une molécule d'eau, ou d'une réaction d'hydrolyse, lorsqu'ils se scindent en monomères. Ces processus se produisent à l'aide d'enzymes, des protéines qui augmentent la vitesse des réactions chimiques en abaissant leur énergie d'activation.

Fiche 3

Les glucides

Les molécules organiques composées de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, avec un ratio Hydrogène/Oxygène de deux pour un, sont appelées **glucides** ou hydrates de carbone ($C_m(H_2O)_n$ avec $m \geq n$). Ils sont une source d'énergie métabolique importante pour les êtres vivants, l'énergie provenant de l'oxydation du glucose stocké sous forme de polymères tels que le glycogène chez les animaux ou l'amidon chez les plantes.

Les monosaccharides ou oses

Ce sont des **sucres simples** non ramifiés dont tous les carbones portent une fonction alcool ($-OH$), sauf un qui porte une fonction carbonyle, divisant les oses en aldoses (fonction aldéhyde) ou cétooses (fonction cétone). On classe également les oses en fonction du nombre de carbones qu'ils possèdent : trioses, tétooses, pentoses, hexoses et heptoses. Le glucose ($C_6H_{12}O_6$, Figure 1.1) est, par exemple, un aldohexose.

Les oses sont généralement représentés par la projection de Fischer (Figure 1.1). Celle-ci consiste en une représentation plane d'une molécule tridimensionnelle. Toutes les liaisons chimiques sont représentées avec des lignes horizontales ou verticales, de telle sorte que la

molécule chimique ressemble à une échelle à un seul montant. La chaîne carbonée principale se situe sur la ligne verticale et les groupements attachés aux atomes de carbone sont disposés horizontalement de part et d'autre des atomes de carbone (à gauche et à droite).

Enfin, les oses constitués de quatre atomes de carbone ou plus peuvent se cycliser (Figure 1.1). La cyclisation se fait par la réaction entre l'atome d'oxygène de la fonction carbonyle (aldéhyde ou cétone) et un atome de carbone portant une fonction alcool. L'atome de carbone de la fonction carbonyle devient alors asymétrique et est appelé carbone anomérique.

La cyclisation entraîne donc l'établissement de deux formes possibles, les anomères, distingués par les lettres α et β . La forme est α si la fonction alcool ($-\text{OH}$) du carbone anomérique et le groupement $-\text{CH}_2\text{OH}$ terminal se trouvent de part et d'autre du cycle. La forme est β si ces deux groupements sont du même côté du cycle (Figure 1.1).

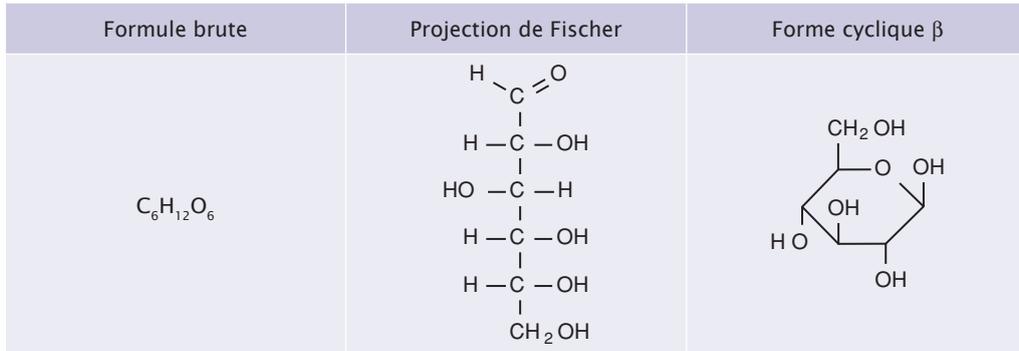


Figure 1.1 Les différentes représentations du glucose

Les disaccharides et oligosaccharides

Les **disaccharides** sont des **oligosaccharides** formés de deux oses unis par une fonction alcool ou carbonyle après perte d'une molécule d'eau. La liaison est appelée **osidique** et peut être rompue sous l'action d'enzymes spécifiques par une réaction d'hydrolyse. Cette liaison est dite α si elle est située de l'autre côté du cycle par rapport au groupement $-\text{CH}_2\text{OH}$ terminal du premier ose. Elle est dite β si elle est située du même côté du cycle que le groupement $-\text{CH}_2\text{OH}$ terminal du premier ose. La liaison osidique est donc nommée en fonction de sa conformation et du numéro des deux carbones qu'elle lie.

Le lactose du lait (Figure 1.2) est par exemple un disaccharide formé d'une molécule de β -galactose et d'une molécule de β -glucose. La liaison osidique reliant les deux est une liaison β (1-4). Des oligosaccharides de grandeur croissante (tri-, tétra-saccharide...) peuvent également se former par ajout successif d'oses.

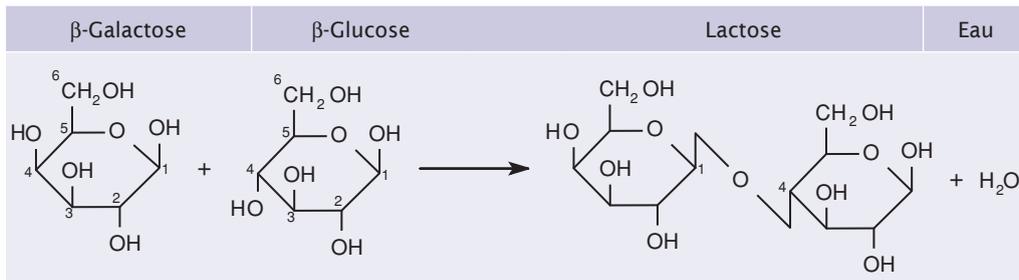


Figure 1.2 Synthèse d'un disaccharide (le lactose) à partir d'une molécule de galactose et d'une de glucose

La liaison entre les deux est appelée liaison osidique.

Les polysaccharides

Les **polysaccharides** sont des polymères qui peuvent être classés en deux grandes catégories selon leur fonction biologique : structurelle ou de stockage. Le glycogène et l'amidon sont par exemple des formes de mises en réserve du glucose qui se présentent sous la forme de grains. Les grains de glycogène sont dispersés dans le cytoplasme des cellules animales tandis que les grains d'amidon sont dispersés dans le cytoplasme et les chloroplastes des cellules végétales. La cellulose, formée dans la cellule végétale et également constituée de glucose, intervient quant à elle dans la constitution de la paroi cellulaire.

Une catégorie particulière de polysaccharides est représentée par le groupe des glycosaminoglycanes, présents notamment dans la matrice extracellulaire des tissus conjonctifs.

Fiche 4

Les lipides

Les **lipides** ne sont pas des polymères. Cette classe mal délimitée regroupe une grande diversité de molécules dont la caractéristique commune est l'insolubilité dans l'eau. Leur comportement hydrophobe repose sur leur structure moléculaire. Ils constituent également une source importante d'énergie, l'hydrolyse des acides gras stockés dans les triglycérides libérant environ 37 kilojoules (kJ) d'énergie par gramme de lipide, contre environ 17 kJ pour les glucides.

Les acides gras

Ce type de lipide entre lui-même dans la composition d'un grand nombre d'autres lipides.

Les **acides gras** ($\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{COOH}$) sont très hydrophobes, car formés en majorité de groupements $-\text{CH}_2$ apolaires. Seul le groupement carboxylique ($-\text{COOH}$) est hydrophile.

Les acides gras peuvent être saturés ou insaturés (Figure 1.3). Les premiers ne possèdent que des liaisons simples entre leurs carbones tandis que les seconds possèdent une ou plusieurs doubles liaisons au niveau de leur chaîne carbonée.

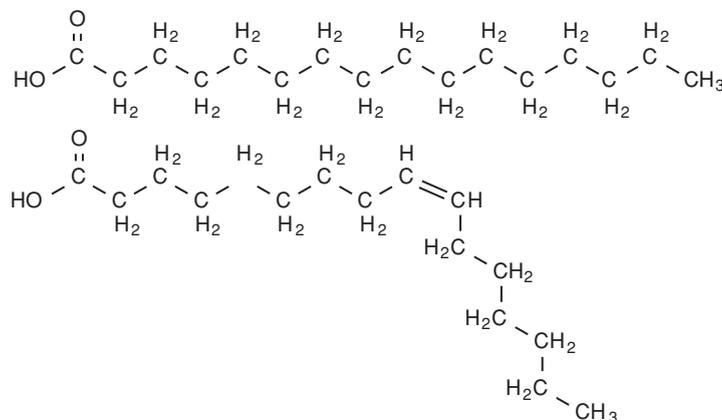


Figure 1.3 Formule d'un acide gras saturé (l'acide palmitique, en haut) et d'un acide gras insaturé (l'acide palmitoléique, en bas)

Les triglycérides

Les **triglycérides**, formés d'une molécule de glycérol et de trois molécules d'acides gras, permettent le stockage des acides gras. Totalement insolubles dans l'eau, ces molé-

cules ne présentent pas de caractère hydrophile. Les triglycérides constituent la majorité des graisses et des huiles animales et végétales. Ils sont stockés sous forme de gouttelettes lipidiques dans la cellule.

Les phospholipides

Les **phospholipides** sont constitués d'une molécule de glycérol liée à deux acides gras, ainsi qu'à un groupement phosphoryle lui-même lié à un autre composé hydrophile (ex : choline). Ces molécules sont dites **amphipathiques** : elles possèdent une queue hydrophobe (acides gras) et une tête hydrophile (groupement phosphoryle).

Au contact de l'eau, les parties apolaires de la molécule amphipathique sont repoussées par les molécules d'eau tandis que les parties polaires s'y associent. Trois types de structures phospholipidiques peuvent dès lors se former : une monocouche, une micelle ou une bicouche, cette dernière constituant la structure de base de toute membrane biologique (voir Chapitre 3).

Les stéroïdes

Les **stéroïdes** sont caractérisés par un squelette carboné formé de quatre cycles accolés. Les groupements fonctionnels attachés aux cycles varient d'un type de stéroïde à l'autre. Un exemple est le cholestérol (Figure 1.4), présent dans les membranes cellulaires animales (voir Chapitre 3), mais également précurseur d'autres stéroïdes (ex : hormones sexuelles des vertébrés).

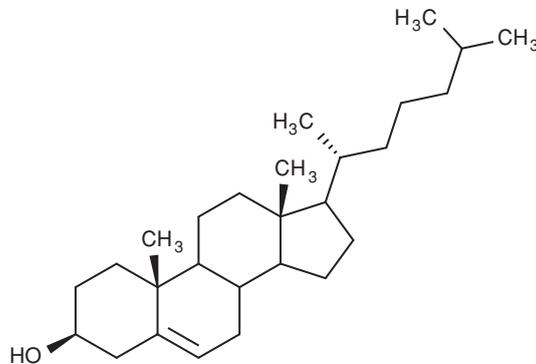


Figure 1.4
Le cholestérol,
un stéroïde

Fiche 5

Les protéines

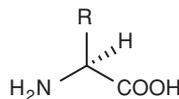
Chez les eucaryotes, les **protéines** sont des polymères formés d'un assortiment de vingt acides aminés différents (voir Chapitre 5). Elles jouent un rôle dans le métabolisme cellulaire en agissant comme catalyseur des réactions chimiques, mais interviennent également dans la structure des tissus, le stockage et le transport de petites molécules et d'ions, les communications cellulaires, le mouvement par contraction des muscles et les défenses de l'organisme contre des éléments étrangers ou des cellules cancéreuses.

Les acides aminés

Les **acides aminés** sont constitués d'un groupement amine ($-NH_2$) et d'un groupement carboxylique acide ($-COOH$) liés à un atome de carbone central, appelé carbone α . Ils ne diffèrent entre eux que par leur chaîne latérale (groupement $-R$), composée essentiellement

de $-\text{CH}_2$ et de $-\text{CH}_3$ également lié au carbone α (Figure 1.5). Les vingt acides aminés protéinogènes peuvent être groupés en cinq classes selon les propriétés de leur chaîne latérale : apolaire, polaire non chargé, chargé, aromatique et enfin la classe des acides aminés à fonctions particulières. L'ensemble des acides aminés est présenté dans l'Annexe 2.

Figure 1.5 Schéma général d'un acide aminé



Les acides aminés s'unissent entre eux par des **liaisons peptidiques** lors de réactions de déshydratation entre la fonction acide du premier acide aminé et la fonction amine du second, formant un peptide. À l'exception de certains oligopeptides, la grande majorité des peptides naturels sont des polypeptides pouvant contenir plusieurs centaines d'acides aminés. Les protéines peuvent être formées d'une ou plusieurs chaînes polypeptidiques.

Structure des protéines

On distingue quatre niveaux d'organisation des protéines.

La **structure primaire** d'une protéine est définie comme la séquence en acides aminés du (ou des) polypeptide(s) qui la compose(nt).

La **structure secondaire** est la configuration régulière que prend le squelette polypeptidique suite à la formation de liaisons hydrogène entre ses groupes peptidiques. Ces liaisons impliquent donc les atomes du squelette peptidique et non ceux des chaînes latérales. Les plus connues sont la structure en spirale (hélice α) et la structure plane (feuillet plissé β).

La **structure tertiaire** est la forme tridimensionnelle finale de la protéine, généralement irrégulière. Elle résulte de la réactivité des groupes latéraux de la chaîne polypeptidique qui interagissent de différentes façons : liaisons hydrogène, hydrophobes, électrostatiques, covalentes (ponts disulfures...)... Cette structure confère à la protéine une activité spécifique.

La **structure quaternaire** d'une protéine multimérique concerne l'association de ses différentes chaînes peptidiques ou sous-unités les unes par rapport aux autres.

Fiche 6

Les acides nucléiques

Les **acides nucléiques**, polymères de nucléotides, constituent les dispositifs de stockage de l'information dans la cellule. Il en existe deux groupes : les acides désoxyribonucléiques (ADN) et les acides ribonucléiques (ARN). Ces molécules permettent la transmission de l'information génétique nécessaire pour produire les protéines correctes d'une génération à l'autre (voir Chapitres 4 et 5).

Les nucléotides et les nucléosides

Un **nucléotide** est formé d'un pentose, d'un ou plusieurs groupements phosphate et d'une base azotée (Figure 1.6). Les nucléotides se distinguent entre eux par la nature du pentose, de la base et par le nombre de radicaux phosphates. Le pentose peut être du ribose (ribonucléotide) ou du désoxyribose (désoxyribonucléotide). Les bases azotées sont des purines (adénine, guanine) ou des pyrimidines (uracile, thymine, cytosine)

(Figure 1.7). Enfin, les nucléotides sont mono- (acides nucléiques), di- ou triphosphatés (ex : adénosine triphosphate ou ATP). Un nucléotide non phosphaté est un **nucléoside**.

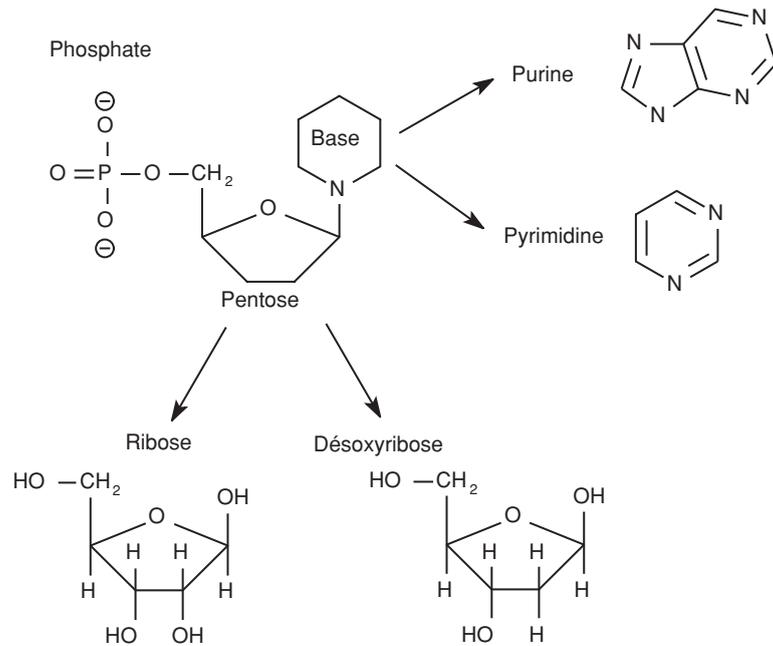


Figure 1.6 Structure d'un nucléotide monophosphaté
Le pentose peut être un ribose ou un désoxyribose
et la base azotée une purine ou une pyrimidine.

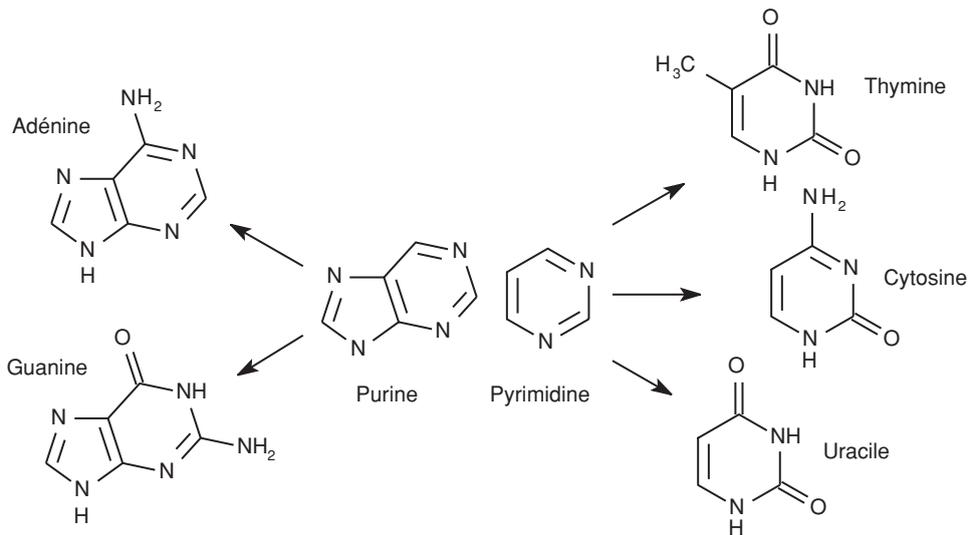


Figure 1.7 Les bases azotées purines (adénine et guanine)
et pyrimidines (thymine, cytosine et uracile)

Certaines molécules impliquées dans le transfert d'électrons sont des dinucléotides particuliers, ils jouent alors le rôle de coenzyme d'oxydoréduction. Par exemple, on citera le NAD⁺ (Nicotinamide Adénine Dinucléotide), le FAD (Flavine Adénine Dinucléotide) et le NADP⁺ (Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate), trois transporteurs d'électrons impliqués dans la respiration cellulaire (pour les deux premiers) ou la photosynthèse (pour le troisième), (voir Chapitres 9 et 10).

L'acide désoxyribonucléique (ADN)

L'**ADN** est une molécule dont la structure standard est une double hélice linéaire constituée de désoxyribonucléotides qui diffèrent entre eux par la nature de leurs bases azotées (adénine, guanine, cytosine et thymine). Les deux chaînes polynucléotidiques sont anti-parallèles et complémentaires l'une de l'autre, les adénines se liant avec les thymines (par deux liaisons hydrogène), les guanines avec les cytosines (par trois liaisons hydrogène) (Figure 1.8). La succession des bases complémentaires le long de la double hélice est spécifique à chaque ADN et constitue l'information génétique (voir Chapitre 4).

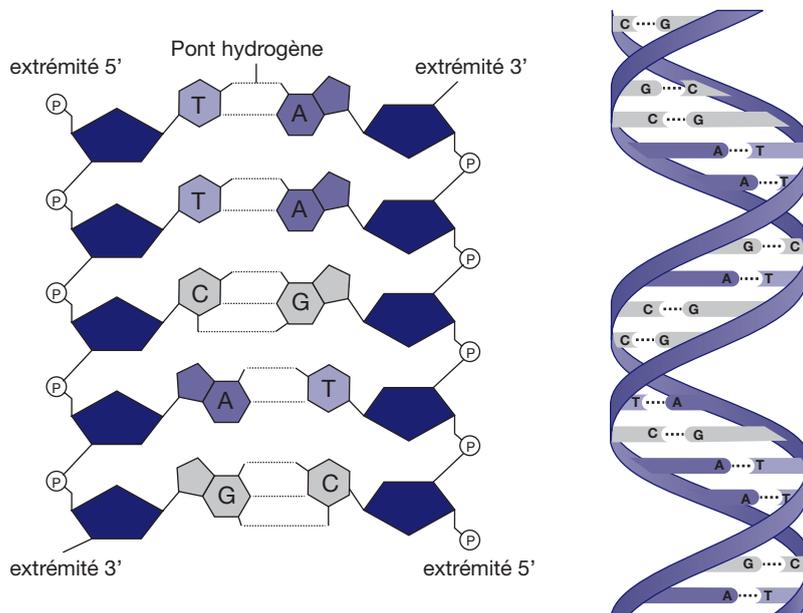


Figure 1.8 Structure de l'ADN

L'acide ribonucléique (ARN)

L'**ARN** est un polymère linéaire constitué de ribonucléotides qui diffèrent entre eux par la nature de leurs bases azotées (adénine, guanine, cytosine et uracile). La molécule est généralement monocaténaire, constituée d'une seule chaîne nucléotidique. Cette chaîne peut toutefois être repliée sur elle-même sur de courtes distances, en raison de l'établissement de liaisons hydrogène entre bases complémentaires. La séquence des bases le long de molécules d'ARN est spécifique et va permettre la synthèse de protéines précises (voir Chapitre 5). Différentes molécules sont constituées d'ARN : les ARN messagers (ARN_m), les ARN ribosomiques (ARN_r), les ARN de transfert (ARN_t), les petits ARN nucléaires (ARN_{sn}) ou nucléolaires (ARN_{sno}).

Entraînement

QCM

1. Parmi les affirmations suivantes sur l'eau, laquelle est fausse ?

- a. L'eau est le solvant universel des systèmes biologiques.
- b. L'eau est le composant le plus abondant de la cellule.
- c. La distribution des électrons dans la molécule d'eau est égale, rendant cette molécule globalement apolaire.
- d. Le noyau d'oxygène étant plus gros, il attire un peu plus vers lui les électrons des deux atomes d'hydrogène.
- e. La cohésion des molécules d'eau provient de leur polarité.

2. Parmi les affirmations suivantes sur les éléments chimiques, laquelle est fausse ?

- a. Seule une dizaine d'éléments sont présents dans les systèmes vivants en quantités supérieures à des traces.
- b. Quatre éléments (C, H, O, N) constituent 96 % du corps humain.
- c. Les oligo-éléments jouent un rôle biologique majeur.
- d. Le calcium est présent à l'état de trace dans le corps humain.
- e. Le chlore et le sodium peuvent former un réseau d'ions, dans lequel chacun des éléments est uni à ses voisins par des liaisons ioniques.

3. Parmi les affirmations suivantes sur le carbone, laquelle est fausse ?

- a. Le squelette de toutes les biomolécules est constitué de carbone.
- b. La valence du carbone incite l'atome à s'associer avec d'autres atomes déficients en électrons, de sorte qu'une mise en commun des électrons permet à chacun d'avoir un total de huit électrons.
- c. Le carbone se lie principalement à des molécules de carbone, d'hydrogène, d'azote, ou de soufre, par une simple liaison.
- d. Les composés formés de carbone, oxygène, hydrogène et azote liés par des liens covalents sont particulièrement stables, car la force de la liaison covalente est inversement proportionnelle au poids atomique des éléments impliqués.
- e. Lorsque les atomes de carbone d'une molécule linéaire ou circulaire ne sont liés qu'à des atomes d'hydrogène, le composé résultant porte le nom d'hydrocarbure.

4. Parmi les affirmations suivantes sur le désoxyribose, laquelle est fausse ?

- a. Le désoxyribose est un pentose.
- b. Le désoxyribose est présent dans les désoxyribonucléotides.
- c. Le désoxyribose fait partie du groupe des aldoses.
- d. Le désoxyribose possède quatre fonctions alcool.
- e. Le désoxyribose ressemble au ribose, avec un C2 réduit.

5. Parmi les affirmations suivantes sur le saccharose, laquelle est exacte ?

- a. Le saccharose est constitué de glucose et de fructose unis respectivement de C1 à C4.
- b. Le saccharose est le constituant de base des molécules de cellulose trouvées dans les parois des cellules végétales.
- c. Le saccharose est un disaccharide constitué de deux molécules de galactose.
- d. Le saccharose est un sucre réducteur.
- e. Le saccharose est trouvé en abondance dans certains tissus végétaux.

6. Parmi les affirmations suivantes sur le glycogène et l'amidon, laquelle est exacte ?

- a. Le glycogène et l'amidon sont des composés réducteurs.
- b. Le glycogène et l'amidon sont des molécules de structure rencontrées chez les animaux et les végétaux respectivement.
- c. Le glycogène et l'amidon sont des polymères dont les monomères sont liés entre eux de façon aléatoire.
- d. Le glycogène et l'amidon sont des polymères linéaires sans chaîne ramifiée.
- e. Le maltose est un produit intermédiaire de la digestion du glycogène et de l'amidon.

7. Parmi les affirmations suivantes sur les glucides, laquelle est fautive ?

- a. Le type de lien glycosidique détermine le rôle du polysaccharide (structure/réserve).
- b. Contrairement à la liaison α , la liaison β est digestible par les animaux.
- c. La formule générale du glucide est $C_m(H_2O)_n$, avec $m \geq n$.
- d. Les systèmes vivants possèdent des enzymes capables de convertir un isomère d'un sucre en un autre.
- e. Les glucides permettent un stockage d'énergie grâce aux nombreuses liaisons covalentes C-H qu'ils présentent et dont l'oxydation libère de l'énergie.

8. Parmi les affirmations suivantes sur les acides aminés, laquelle est fautive ?

- a. La chaîne latérale d'un acide aminé est utilisée pour l'établissement d'une classification des acides aminés.
- b. Chaque acide aminé est caractérisé par une chaîne latérale distincte liée à la fonction amine.
- c. Chaque acide aminé possède dans sa formule au moins un groupe carboxyle et un groupe amine.
- d. Tous les acides aminés protéinogènes appartiennent à la série L.
- e. Vingt acides aminés seulement sont communément trouvés dans les protéines des cellules eucaryotes.

9. Parmi les affirmations suivantes sur les acides aminés, laquelle est exacte ?

- a. La chaîne latérale ou groupement R d'un acide aminé ne contient jamais d'autres atomes que C, H, O et N.
- b. Les protéines sont constituées exclusivement d'acides aminés.
- c. Un acide aminé se comporte toujours comme un anion, à pH physiologique.
- d. Le radical est responsable du rôle joué par l'acide aminé, c'est-à-dire qu'il est utilisé pour classer les acides aminés.
- e. Le radical d'un acide aminé peut se lier au radical d'un autre acide aminé par un lien peptidique.

10. Parmi les affirmations suivantes sur les protéines, laquelle est fausse ?

- a. La séquence en acides aminés d'une protéine peut intervenir dans sa forme tridimensionnelle.
- b. Les oligopeptides sont constitués d'un petit nombre d'acides aminés.
- c. Les protéines peuvent se lier à d'autres molécules.
- d. Les protéines sont uniquement des polymères d'acides aminés.
- e. Les protéines sont les composants organiques les plus abondants des organismes vivants.

11. Parmi les affirmations suivantes sur la structure des protéines, laquelle est exacte ?

- a. Dans la structure quaternaire d'une protéine, on trouve plusieurs chaînes polypeptidiques différentes ou identiques, associées entre elles.
- b. La structure secondaire d'une protéine est le niveau d'organisation le plus élevé rencontré dans la plupart des protéines.
- c. La structure tertiaire d'une protéine ne dépend aucunement de la séquence d'acides aminés le long de la chaîne.
- d. Le premier acide aminé de la chaîne polypeptidique présente un radical carboxyle libre.
- e. L'enchaînement des acides aminés dans une chaîne polypeptidique se fait dans un ordre quelconque pour une protéine donnée.

12. Parmi les affirmations suivantes sur les lipides, laquelle est exacte ?

- a. Les lipides contiennent uniquement des atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène.
- b. Les lipides sont toujours amphipathiques.
- c. Les lipides sont aisément solubles dans l'eau.
- d. Les lipides ont un rôle énergétique, structural ou présentent une fonction biologique spécifique.
- e. Les lipides sont des polymères.

13. Parmi les affirmations suivantes sur les triglycérides, laquelle est fausse ?

- a. Les triglycérides constituent les graisses et les huiles animales et végétales.
- b. L'énergie stockée dans les liaisons C-H rend les triglycérides plus riches en énergie que les glucides.
- c. Les triglycérides résultent de l'association de trois molécules d'acides gras avec une molécule de glycérol après perte de trois molécules d'eau.
- d. Les triglycérides sont parfois rencontrés dans les structures membranaires.
- e. Les triglycérides sont parmi les plus hydrophobes des lipides.

14. Parmi les affirmations suivantes sur le glycérol, laquelle est exacte ?

- a. Le glycérol est insoluble dans l'eau, comme les acides gras.
- b. Le glycérol est le principal alcool rencontré dans les lipides.
- c. Le glycérol est un tétra-alcool.
- d. Le glycérol ne forme jamais d'esters.
- e. L'hydrolyse d'un triglycéride fournit une molécule de glycérol et trois molécules d'acides aminés.

- 15. Parmi les affirmations suivantes sur les acides nucléiques, laquelle est exacte ?**
- a. Il existe deux types de bases azotées : les bases puriques à deux hétérocycles et les bases pyrimidiques qui en ont un seul.
 - b. Le désoxyribose correspond à une molécule de ribose dans laquelle le groupement alcool (-OH) en position 3' est remplacé par un hydrogène (-H).
 - c. Les ADN et les ARN diffèrent seulement du point de vue chimique par la nature des bases organiques de leurs monomères.
 - d. Les éléments de base des acides nucléiques sont appelés les nucléosides.
 - e. Un monomère d'acide nucléique est constitué d'un acide organique à cinq carbones, d'une base organique cyclique et d'une molécule minérale : l'acide phosphorique.
- 16. Si on comptait le nombre de bases de chaque type contenues dans un échantillon d'ADN, quel serait le résultat, en accord avec les règles d'appariement des bases ?**
- a. $A = C$
 - b. $A + G = C + T$
 - c. $A + T = G + T$
 - d. $A = 2 C$
 - e. $A = 2 T$
- 17. Parmi les affirmations suivantes sur la composition des acides nucléiques, laquelle est exacte ?**
- a. La cytosine diphosphate est un nucléotide formé d'une base azotée pyrimidique liée à un pentose, lui-même associé à deux groupements phosphate.
 - b. La désoxyadénosine diphosphate est un nucléoside formé de l'association d'un sucre, le désoxyribose, d'une base azotée, l'adénine, et de deux groupements phosphate.
 - c. La désoxycytidine diphosphate est une base azotée liée à un sucre, le désoxyribose, portant deux groupements phosphate.
 - d. La désoxycytidine diphosphate est un nucléotide présent dans l'ARN.
 - e. La désoxyguanosine diphosphate est une base azotée purique portant deux groupements phosphate et reliée à un sucre, le désoxyribose.

Réponses

- 1. c.** Puisque l'électronégativité de l'atome d'oxygène est plus forte que celle de l'hydrogène, les électrons ont tendance à être attirés par l'atome d'oxygène. Le côté de la molécule d'eau où se trouve l'oxygène a donc une charge partielle négative, tandis que les deux hydrogènes ont une charge partielle positive. Une molécule avec une telle différence de charge est appelée dipôle (molécule polaire). De plus, cette différence de charge entraîne une attraction des molécules d'eau les unes envers les autres, le côté positif d'une molécule attirant le côté négatif d'une autre. Un tel lien électrique entre deux molécules s'appelle une liaison hydrogène. Enfin grâce à sa polarité, l'eau est un excellent solvant.
- 2. d.** Le calcium représente environ 2 % des atomes du corps humain, juste après l'oxygène, le carbone, l'hydrogène et l'azote, éléments chimiques fondamentaux de la vie. Outre son rôle prépondérant dans la formation des os et des dents, il intervient dans de nombreux processus tels que le maintien de la pression sanguine, la coagulation du sang, l'influx nerveux et la contraction musculaire.
- 3. c.** Puisque l'atome de carbone possède quatre électrons sur sa dernière couche électronique, il peut se lier à quatre autres atomes. Les liaisons chimiques étant le résultat d'un partage d'électrons entre deux atomes, certains atomes, comme les atomes de carbone par exemple, peuvent s'unir entre eux par le partage d'une paire d'électrons (liaison simple), de deux paires d'électrons (liaison double) et enfin de trois paires d'électrons (liaison triple). Les hydrocarbures, molécules organiques les plus simples constituées exclusivement d'atomes de carbone et d'hydrogène, ne présentent que des liaisons simples. Une double liaison peut exister entre un atome de carbone et un atome d'oxygène (groupe carbonyle, $C=O$), entre un atome de carbone et un atome d'azote (imine, $C=N$) ou encore entre un atome de carbone et un atome de soufre ($C=S$). Une triple liaison peut aussi être rencontrée entre un atome de carbone et un atome d'azote dans les nitriles ou entre un atome de carbone et un atome d'oxygène dans le monoxyde de carbone. Les liaisons entre le carbone et ces atomes ne sont donc pas toujours simples, elles peuvent être doubles ou triples.
- 4. d.** Le désoxyribose est un sucre en C5 (cinq carbones) portant une fonction aldéhyde et présent dans les désoxyribonucléotides. Le groupement $-OH$ du carbone 2' étant remplacé par un $-H$, il ne possède que trois fonctions alcool.
- 5. e.** Le saccharose est un disaccharide formé d'une molécule de glucose et d'une molécule de fructose reliées par une liaison osidique ($C1-C2$). Le saccharose est un sucre non réducteur, le carbone hémiacétalique du glucose ($R-CHOH-O-R'$) et le carbone hémiacétalique du fructose sont impliqués dans la liaison osidique. Ils ne sont donc pas libres.
- 6. e.** Le glycogène et l'amidon sont des polymères de glucose. Les molécules de glucose sont reliées par des liaisons α (1-4), en général caractéristiques des polysaccharides de réserve, et par des liaisons α (1-6) qui sont à l'origine de ramifications dans la structure de la molécule. Leur digestion libère un disaccharide formé de deux molécules de glucose reliées par une liaison α (1-4) : le maltose. Ils sont non réducteurs : ils ne comportent pas de fonction aldéhyde ou un groupement hémiacétal libre.
- 7. b.** Les animaux possèdent des enzymes capables de dégrader les oses à liaison α alors que les oses à liaison β (telle la cellulose) ne peuvent être dégradés pratiquement que par des enzymes bactériennes.
- 8. b.** Les 20 acides aminés rencontrés dans les protéines des cellules eucaryotes sont caractérisés par la présence d'une chaîne latérale distincte liée au carbone α , c'est-à-dire le carbone portant un $-H$, une fonction amine ($-NH_2$) et une fonction carboxylique ($-COOH$).
- 9. d.** Chez les eucaryotes, les 20 acides aminés naturels (sous forme L) se distinguent d'après les propriétés de leur chaîne latérale. Parmi eux, 18 acides aminés ne contiennent que quatre éléments chimiques : C, H, O et N ; deux acides aminés contiennent en plus un

atome de soufre. Les acides aminés portent au moins deux groupements ionisables, l'un acide ($-\text{COOH}$) et l'autre basique ($-\text{NH}_2$). Ils ont donc un caractère amphotère, car ils peuvent être à la fois donneurs et accepteurs de protons, c'est-à-dire agir à la fois comme un acide et comme une base. Les acides aminés polymérisent en formant des liaisons peptidiques qui s'établissent entre la fonction carboxyle portée par le carbone α d'un acide aminé et la fonction amine portée par le carbone α de l'acide aminé suivant, aboutissant à de longues chaînes macromoléculaires appelées peptides. Certaines protéines, telles les glycoprotéines ou les lipoprotéines ne sont pas exclusivement composées par des acides aminés.

10. **d.** Certaines protéines, appelées **holoprotéines**, sont des polymères d'acides aminés et uniquement d'acides aminés ; d'autres, appelées **hétéroprotéines** sont constituées en plus d'une partie non protéique appelée **groupement prosthétique** (ex. : glucide, lipide), associée durablement à la protéine.
11. **a.** La structure quaternaire des protéines regroupe l'association d'au moins deux chaînes polypeptidiques, identiques ou différentes, par des liaisons non covalentes qui ont pour rôle de créer les liaisons interchaînes. Chacune de ces chaînes est appelée sous-unité et l'ensemble porte le nom de protéine multimérique.
12. **d.** Les lipides exercent de multiples fonctions. Ils sont une source essentielle d'énergie, ils jouent un rôle structural dans les membranes cellulaires (voir Chapitre 3). Ce sont aussi des messagers chimiques. Ce sont des molécules en grande partie hydrophobes et donc insolubles dans l'eau. Certains lipides ont une région polaire hydrophile en plus de leur partie hydrophobe, ces derniers sont dits amphipathiques alors que les autres lipides ne le sont pas.
13. **d.** Les triglycérides sont des lipides dans lesquels les trois groupements hydroxyle du glycérol sont estérifiés par des acides gras. Ils sont le constituant principal de l'huile végétale et des graisses animales. Contrairement aux phospholipides, ils n'ont pas de rôle structural à l'échelle cellulaire, mais ils forment une réserve d'énergie très importante stockée sous forme de gouttelettes lipidiques, notamment dans les cellules adipeuses chez les animaux. Enfin, ils peuvent aussi jouer un rôle de protection mécanique dans les tissus.
14. **b.** Le glycérol est un composé chimique comportant trois fonctions alcool, responsables de sa solubilité dans l'eau. Il constitue l'articulation centrale de tous les lipides de la classe des triglycérides et des phospholipides (esters d'acides gras et de glycérol).
15. **a.** Les acides nucléiques sont des polymères de nucléotides. Chaque nucléotide est constitué de l'association d'une base azotée (purine à deux hétérocycles ou pyrimidine à un hétérocycle), d'un sucre à cinq carbones (ribose pour l'ARN ou désoxyribose pour l'ADN, ribose dans lequel le $-\text{OH}$ en position 2' est remplacé par un $-\text{H}$) et d'un ou plusieurs groupements phosphate.
16. **b.** L'ADN renferme quatre types de bases azotées qui s'apparient deux à deux : adénine (A) avec thymine (T) et cytosine (C) avec guanine (G). Dans une molécule d'ADN, les bases complémentaires sont donc en proportions égales ($A = T$ et $C = G$). En revanche, le nombre de chacun des deux types d'appariements varie dans cette molécule d'ADN ($A + T \neq C + G$). Puisque $A = T$ et $G = C$, l'affirmation $A + G = C + T$ est correcte.
17. **c.** Un nucléoside est une base azotée liée à un pentose. Un nucléotide est une base azotée liée à un pentose, lui-même associé à un ou plusieurs groupements phosphate. Les cinq bases azotées sont : l'adénine, la guanine, la cytosine, la thymine et l'uracile. Les cinq nucléosides associés sont, respectivement : l'adénosine, la guanosine, la cytidine, la thymidine et l'uridine. La cytosine est donc une base azotée et non un nucléotide. La désoxyadénosine diphosphate est un nucléotide et non un nucléoside, car elle est associée à deux groupements phosphate. La désoxycytidine se trouve dans l'ADN et non dans l'ARN, puisqu'elle contient du désoxyribose. Dans la désoxyguanosine diphosphate, les groupements phosphate sont liés au sucre et non à la base azotée. La seule proposition correcte est donc la c), la désoxycytidine diphosphate est une base azotée liée à un sucre, le désoxyribose, portant deux groupements phosphate.

Entraînement

Vrai ou faux

- | | Vrai | Faux |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1. L'oxygène est l'élément chimique qui représente le plus grand pourcentage massique du corps humain. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. L'atome d'oxygène est l'élément le plus abondant du corps humain. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. L'atome de soufre est un élément essentiel à tous les êtres vivants. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. Le cuivre est un métal essentiel à la vie. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5. L'eau est le composé organique le plus abondant de la matière vivante. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. Les oligo-éléments (fer, zinc...) présents en grande quantité dans l'organisme humain sont des éléments minéraux. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. Les sels minéraux présents dans la matière vivante interviennent principalement dans la constitution de structures solides telles que squelettes, coquilles ou carapaces. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. Le CO ₂ est un composé organique. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9. Les cellules sont composées de molécules organiques diverses qui appartiennent à quatre grandes classes : glucides, lipides, protéines et acides nucléiques. Ces molécules sont des polymères naturels formés d'unités structurales identiques appelées monomères. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10. La réaction d'hydrolyse d'un polymère le décompose en ses molécules constitutives plus petites, grâce à l'élimination d'une molécule d'eau. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11. Cétose et aldose diffèrent par la position de la fonction carbonyle, respectivement sur le deuxième ou le troisième carbone. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12. Le glucose et le ribose sont des hexoses. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13. Le ribose est un cétopentose. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14. Le glucose est un monosaccharide intervenant dans la composition de l'amidon et du glycogène. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 15. Le glucide le plus abondant sur terre est la cellulose. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 16. La formule chimique brute du glucose, du fructose et du galactose est C ₆ H ₁₂ O ₆ . | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 17. La séparation du saccharose en deux molécules de glucose est une réaction d'hydrolyse. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 18. Les lipides, non solubles dans l'eau, sont des molécules hydrophobes. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 19. Les acides gras sont insolubles dans l'eau, car ils sont formés d'une chaîne carbonée hydrophobe. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20. L'acide oléique est un acide gras à chaîne linéaire. L'acide stéarique est quant à lui un acide gras insaturé, formant un angle à l'endroit de la double liaison. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 21. Les triglycérides, assemblés sous forme de bicouches, sont à la base de la structure des membranes cellulaires. | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

	Vrai	Faux
22. Les triglycérides, formes de stockage des acides gras, sont des esters dans lesquels trois molécules de glycérol se combinent à une molécule d'acide gras.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. Dans les phospholipides, un des sites du glycérol est occupé par un groupement phosphate lié lui-même à un composé hydrophobe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. Le cholestérol est un lipide qui comprend quatre cycles carbonés, ainsi qu'un groupement hydroxyle sur un de ses cycles.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25. Après avoir catalysé une réaction chimique, une enzyme peut agir à nouveau, mais elle devient de moins en moins efficace.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
26. Un anticorps est une molécule glycoprotéique.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
27. L'ornithine fait partie des 20 principaux acides aminés naturels constituant les protéines.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
28. La structure générique d'un acide aminé est $\text{NH}_2\text{-CHR-COOH}$, où R représente la chaîne latérale qui caractérise l'acide aminé.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29. Chaque acide aminé possède au moins un groupement carboxyle et un groupement amine, reliés à l'atome de carbone α par des liaisons peptidiques.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
30. La séquence des acides aminés d'une protéine constitue la structure primaire de sa molécule. Celle-ci déterminera fortement la structure tertiaire de la protéine.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
31. Dans la structure secondaire d'une protéine, la chaîne latérale d'un acide aminé peut interagir avec la chaîne latérale d'un autre acide aminé par une liaison hydrogène.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
32. Une protéine peut être composée de plusieurs chaînes peptidiques.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
33. Les acides nucléiques sont composés de monomères nommés nucléosides.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
34. L'ADN cellulaire est un polynucléotide dont la structure fine a été découverte par Watson et Crick.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
35. Les nucléotides entrent dans la composition de l'ADN, alors que les nucléosides forment les molécules d'ARN.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
36. L'uracile associé à un ribose et lié à un acide phosphorique est un nucléotide.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
37. L'adénine est un nucléotide purique.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
38. L'ATP est une molécule permettant les transferts d'énergie dans la cellule.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
39. Les bases pyrimidiques sont au nombre de trois dans l'ADN.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
40. L'ADN et l'ARN se distinguent uniquement par la nature des bases azotées de leurs monomères.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
41. La dénaturation de l'ADN d'un plasmide par la chaleur est d'autant plus difficile qu'il est riche en appariements A-T.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
42. Lors de la formation de l'ADN, plusieurs désoxyribonucléotides s'assemblent grâce à une liaison phosphodiester entre le carbone 3' du premier nucléotide et le carbone 5' du nucléotide qui le suit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
43. L'ARN est une molécule biologique dont l'unique rôle est d'être le support temporaire de l'information génétique.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
44. Les acides nucléiques se localisent dans le noyau.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Réponses

- 1. Vrai.** L'oxygène, sous forme de gaz et de constituant de l'eau, représente 62,5 % de la masse du corps humain. Il est également, en masse, le troisième constituant le plus abondant de l'univers, après l'hydrogène et l'hélium.
- 2. Faux.** Bien que les atomes d'oxygène représentent plus de la moitié de la masse du corps humain, c'est l'hydrogène, atome le plus léger, qui est le plus abondant, représentant 63 % des atomes dont nous sommes constitués.
- 3. Vrai.** L'atome de soufre intervient dans la formule de deux acides aminés naturels, la cystéine et la méthionine, et par conséquent dans de nombreuses protéines. De plus, les liaisons disulfures entre polypeptides jouent un rôle très important dans la structure et l'assemblage des protéines. Ainsi, chez l'Homme par exemple, le soufre est indispensable à la constitution des os, des articulations, des tendons et des dents. Enfin, le soufre est également présent dans des coenzymes comme le coenzyme A (voir Chapitre 9).
- 4. Vrai.** Le cuivre est un oligo-élément essentiel à la vie. Il se retrouve dans de nombreux systèmes biologiques dans lesquels il transporte l'O₂, tel que l'hémocyanine des mollusques, qui a un rôle équivalent à celui de l'hémoglobine des homéothermes, contenant du fer.
- 5. Faux.** L'eau ne contient pas de carbone et n'est donc pas un composé organique, mais bien inorganique ou minéral. Il est le composé inorganique le plus abondant de la matière vivante et représente plus de 60 % de la masse de l'être humain. La répartition de l'eau est toutefois variable selon l'organisme ou le tissu considéré : très abondante dans les méduses et le sang, mais en faible quantité dans les graines des plantes et les os.
- 6. Faux.** Les oligo-éléments sont effectivement des composés minéraux, mais ils ne sont présents qu'en très faibles quantités, inférieures à 1 mg/kg. Ils sont cependant nécessaires à la vie d'un être humain, bien que parfois toxiques à haute concentration.
- 7. Faux.** Dissociés en ions, les sels minéraux jouent un rôle capital dans le bon fonctionnement de la cellule et de l'organisme, via des balances ioniques finement régulées.
- 8. Faux.** Bien que composé de carbone, le CO₂ n'est pas un composé organique. Un composé chimique est dit organique lorsque sa molécule possède au moins un atome de carbone lié au minimum à un atome d'hydrogène.
- 9. Faux.** Les lipides ne sont pas des polymères. De plus, les glucides peuvent par exemple se trouver à l'état de monosaccharides (glucose), molécules simples.
- 10. Faux.** La réaction d'hydrolyse requiert l'apport d'une molécule d'eau. C'est la réaction inverse, la condensation, créant ou allongeant le polymère, qui implique la libération d'une molécule d'eau.
- 11. Faux.** Les cétooses et les aldoses sont des sucres simples qui diffèrent effectivement par la position de la fonction carbonyle. Cependant, l'aldose possède une fonction aldéhyde sur son premier carbone alors que la cétoose présente une fonction cétone sur le deuxième.
- 12. Faux.** Le glucose est bien un sucre simple composé de six atomes de carbone, mais le ribose est un pentose, constitué d'une chaîne de cinq éléments carbone.
- 13. Faux.** Le ribose est un aldopentose, possédant une fonction aldéhyde et non cétone.
- 14. Vrai.** Le glycogène et l'amidon sont des polysaccharides composés de chaînes ramifiées de glucose. Ils constituent les molécules de réserve énergétique, respectivement pour les cellules animales et végétales.
- 15. Vrai.** La cellulose est un polymère linéaire de glucose qui intervient dans la constitution de la paroi des cellules végétales, et elle représente plus de 50 % de la matière organique terrestre.

16. **Vrai.** **Isomères**, le glucose, le fructose et le galactose sont tous des hexoses, c'est-à-dire des sucres simples à six carbones dont la formule chimique brute est $C_6H_{12}O_6$.
17. **Faux.** Le saccharose est un disaccharide qui peut effectivement subir une réaction d'hydrolyse, mais celle-ci libère une molécule de glucose et une autre de fructose.
18. **Faux.** Certains lipides, tels que les phospholipides, sont amphipathiques ou amphiphiles, et possèdent à la fois un groupement hydrophile et un groupement hydrophobe. En milieu aqueux, ils s'organisent en structures spécifiques (micelle, liposome, bicouche lipidique) dont seules les têtes hydrophiles sont exposées aux molécules d'eau.
19. **Vrai.** Les acides gras sont constitués d'une longue chaîne carbonée formée d'une répétition de groupements méthylène $-CH_2$. Cette chaîne carbonée confère aux acides gras leur caractère hydrophobe.
20. **Faux.** C'est l'inverse, l'acide stéarique est un acide gras saturé, alors que l'acide oléique est un acide gras insaturé.
21. **Faux.** Les triglycérides sont le constituant principal des huiles végétales et des graisses animales. Ce sont les phospholipides qui sont les principaux constituants des membranes cellulaires (voir Chapitre 3).
22. **Faux.** Les triglycérides sont des esters composés d'une molécule de glycérol et de trois molécules d'acides gras.
23. **Faux.** Le site du glycérol occupé par un groupement phosphate est lié à un autre composé hydrophile, tel que la choline, rendant le phospholipide amphipathique ou amphiphile.
24. **Vrai.** Le cholestérol est un stéroïde dont le squelette carboné est formé de quatre cycles accolés, ainsi qu'un groupement hydroxyle ($-OH$) sur son premier cycle.
25. **Faux.** Une enzyme est intacte en fin de réaction. Une même enzyme peut faire la même réaction des milliers de fois à la seconde.
26. **Vrai.** Les anticorps ou immunoglobulines sont des glycoprotéines qui jouent un rôle de défense contre les substances et les organismes étrangers.
27. **Faux.** L'ornithine est bien un acide aminé naturel, mais elle n'est pas protéinogène. Formée à partir de la L-arginine chez les animaux, elle intervient dans le cycle de l'urée.
28. **Vrai.** Les acides aminés se distinguent par leur chaîne latérale qui peut notamment être apolaire ou polaire, ionisable ou non, acide ou basique. À pH physiologique, proche d'une valeur de 7, certains groupements des acides aminés peuvent s'ioniser et ainsi apporter une charge (positive ou négative) à ces acides aminés. Par exemple, le groupement amine principal des acides aminés est sous la forme $-NH_3^+$ à pH physiologique, tandis que le groupement acide est sous la forme $-COO^-$. L'acide aminé est alors sous sa forme ionisée, aussi appelée forme zwitterionique. Certains groupements des chaînes latérales des acides aminés peuvent aussi s'ioniser et apporter des charges supplémentaires à la protéine.
29. **Faux.** Chaque acide aminé possède au moins un groupement carboxyle et un groupement amine, reliés à l'atome de carbone α par des liaisons covalentes. La liaison peptidique se crée lors de la réaction de condensation entre la fonction carboxyle portée par le carbone α d'un acide aminé et la fonction amine portée par le carbone α de l'acide aminé suivant dans la chaîne peptidique.
30. **Vrai.** La structure primaire d'une protéine est la séquence d'acides aminés, de l'extrémité amino-terminale à l'extrémité carboxy-terminale. Bien que la structure primaire n'aide pas à prédire la forme de la structure secondaire, le repliement en feuillets ou hélices étant très complexe, elle peut cependant permettre de déterminer la forme tridimensionnelle qu'adoptera la protéine.
31. **Faux.** La structure secondaire des protéines concerne les liaisons hydrogène qui s'établissent entre les atomes du squelette peptidique et non ceux des chaînes latérales des acides aminés. Lorsque les chaînes latérales des acides aminés interagissent entre elles, à l'aide de liaisons hydrogène ou autres, cela concerne la structure tertiaire des protéines.
32. **Vrai.** Les protéines dites oligomériques atteignent une structure quaternaire et

consistent fréquemment en une association symétrique et paire de plusieurs sous-unités protéiques. Exemple : l'hémoglobine.

33. **Faux.** Les acides nucléiques sont des polymères dont l'unité de base est le nucléotide, qui se différencie du nucléoside par la présence d'un à trois groupements phosphate.
34. **Vrai.** L'ADN est un polymère de nucléotides monophosphatés parmi les quatre suivants : désoxyadénosine monophosphate (dAMP), désoxythymidine monophosphate (dTMP), désoxyguanosine monophosphate (dGMP) et désoxycytidine monophosphate (dCMP). La structure de l'ADN a été décrite en 1953 par Watson et Crick.
35. **Faux.** Les nucléotides sont les monomères de l'ADN et de l'ARN.
36. **Vrai.** Un nucléotide est une molécule qui se compose d'une base azotée (comme l'uracile), d'un pentose (comme le ribose) et d'un à trois groupements phosphate.
37. **Faux.** L'adénine n'est pas un nucléotide, mais bien une base azotée appartenant au groupe des purines. L'adénosine monophosphate est quant à elle un nucléotide.
38. **Vrai.** L'ATP est une molécule qui, hydrolysée en adénosine diphosphate (ADP) et un phosphate inorganique (P_i), fournit l'énergie nécessaire aux réactions chimiques du métabolisme (voir Chapitre 9). L'ADP peut ensuite être hydrolysée en adénosine monophosphate (AMP) et un P_i . Enfin, l'ATP peut également être directement hydrolysée en AMP et un pyrophosphate (deux ions phosphate condensés, PP_i).
39. **Faux.** L'ADN ne renferme que deux bases pyrimidiques, la thymine et la cytosine. L'uracile est aussi une base pyrimidique, mais elle entre dans la composition de l'ARN, et non de l'ADN.
40. **Faux.** Bien que la thymine de l'ADN soit remplacée dans l'ARN par de l'uracile, l'ARN diffère également de l'ADN par la présence d'un ribose à la place du désoxyribose.
41. **Faux.** Dans la structure bicaténaire de l'ADN, deux liaisons hydrogène retiennent ensemble la paire A-T, alors que la paire G-C en contient trois et nécessite donc plus d'énergie que l'appariement A-T pour être rompue.
42. **Vrai.** Les nucléotides sont reliés entre eux selon une certaine séquence grâce à des liaisons impliquant un groupe phosphate, qu'on appelle des liaisons 3'-5' phosphodiester. Par convention, la séquence nucléotidique se lit de l'extrémité 5' à l'extrémité 3'.
43. **Faux.** L'ARN possède bien d'autres fonctions. Il entre notamment dans la composition des ribosomes qui interviennent dans la synthèse des protéines (voir Chapitre 5).
44. **Faux.** L'ADN et l'ARN sont non seulement présents dans le noyau, mais aussi dans le cytoplasme des cellules. Outre l'ADN nucléaire, une petite quantité d'ADN se trouve dans les organites tels les mitochondries et les chloroplastes (voir Chapitres 9 et 10). Quant à l'ARN synthétisé dans le noyau, il est exporté dans le cytoplasme pour fournir l'information génétique et permettre la synthèse des protéines (voir Chapitre 5).