

Sous la direction de P. PEYCRU, D. GRANDPERRIN et C. PERRIER :  
B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER,  
J.-F. FOGELGESANG, C. VAN DER REST.

# BIOLOGIE

# BCPST 1

TOUT-EN-UN

4<sup>e</sup> édition

DUNOD

*l'intégrale*

Conception et création de couverture : Hokus Pokus Créations  
Maquette intérieure : Yves Tremblay

<p>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.</p> <p>Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> 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</p>	 <p><b>DANGER</b> LE PHOTOCOPIAGE TUE LE LIVRE</p>	<p>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.</p> <p>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).</p>
--	---	--

Nouvelle présentation, 2019

© Dunod, 2017

11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff

ISBN 978-2-10-079714-1

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

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

# Table des matières

Avant propos	VIII	3.3 Les relations structurales entre membranes, cytoplasme et milieu extracellulaire	94
Les plus en ligne	IX		
Présentation de l'ouvrage	X		
Abréviations	XIV	<b>4 Échanges et membranes</b>	<b>105</b>
Remerciements	XVI		
<b>Des molécules du vivant à la cellule : organisation fonctionnelle</b>			
<b>1 L'eau, les petites molécules organiques</b>	<b>2</b>	<b>4.1</b> Caractérisation des échanges transmembranaires	<b>105</b>
1.1 La composition du vivant : atomes et molécules	3	<b>4.2</b> Les transports individuels : supports moléculaires et importance biologique	<b>113</b>
1.2 L'eau	12	<b>4.3</b> Transports cytotiques : exocytose et endocytose	<b>124</b>
1.3 Les glucides simples ou oses	15		
1.4 Les lipides	22	<b>5 Membrane plasmique et communication nerveuse</b>	<b>132</b>
1.5 Les acides aminés	28	5.1 Le potentiel d'action, variation particulière du potentiel de membrane des cellules excitables	132
1.6 Les nucléotides	31	5.2 Le potentiel d'action : un messenger nerveux régénéré de proche en proche par les membranes	142
1.7 Les conversions	33	5.3 La synapse : transmission d'information via un messenger chimique	145
<b>2 Les macromolécules</b>	<b>38</b>		
2.1 Les macromolécules glucidiques, polyosides ou glycanes, polymères d'oses et de dérivés	39	<b>6 Les réactions chimiques du vivant</b>	<b>157</b>
2.2 Les acides nucléiques, polymères séquencés de nucléotides	45	6.1 Les enzymes et la réalisation du métabolisme	157
2.3 Les protéines, polymères séquencés d'acides aminés	52	6.2 Les mécanismes de la catalyse : association enzyme-substrat(s) et ajustement induit	160
2.4 Les polyphénols, hétéropolymères pariétaux des cellules végétales	70	6.3 Le contrôle de l'activité enzymatique par des changements conformationnels	168
		6.4 Les enzymes et la spécialisation fonctionnelle des compartiments et des cellules	172
<b>3 Membranes cellulaires : organisation, propriétés et interrelations structurales</b>	<b>76</b>		
3.1 Architecture moléculaire et propriétés des membranes cellulaires	77	<b>7 Biosynthèses caractéristiques</b>	<b>178</b>
3.2 Les matrices extracellulaires, interfaces fonctionnelles entre la cellule et son milieu	87	7.1 Panorama des principales biosynthèses	179
		7.2 La traduction, processus de polymérisation des acides aminés	184
		7.3 La maturation et l'adressage des protéines	191

<b>8</b>	<b>Métabolisme et formes d'énergie de la cellule</b>	202	<b>TP3</b>	<b>La cinétique enzymatique et son contrôle</b>	312
8.1	Les trois formes d'énergie directement utilisables par la cellule	202	3.1	Cinétique d'une peroxydase : détermination de $k_m$ , $v_{max}$ et $k_{cat}$	312
8.2	Le rôle des mitochondries et des chloroplastes dans le métabolisme énergétique	213	3.2	Influence du pH sur la catalyse du lysozyme	316
8.3	Architecture moléculaire et couplages au sein des membranes : crêtes, thylacoïdes, plasmalemma bactérien	221	3.3	Analyse de deux cinétiques d'inhibition réversible	318
	Conclusion	237			
<b>9</b>	<b>Métabolisme et transferts de matière</b>	240	<b>L'organisme : un système en interaction avec son environnement</b>		
9.1	Deux sources d'approvisionnement des cellules	240	<b>11</b>	<b>Regards sur l'organisme animal, la vache (<i>bos taurus</i>, mammifère bovidé)</b>	322
9.2	Les fondements métaboliques de l'hétérotrophie	241	11.1	La vache dans son milieu de vie	323
9.3	Les fondements métaboliques de l'autotrophie	252	11.2	Une fonction de nutrition : l'alimentation de la vache	329
<b>10</b>	<b>Synthèse sur l'organisation fonctionnelle de la cellule</b>	268	11.3	Vue d'ensemble sur les fonctions de nutrition	336
10.1	La cellule, un volume aqueux limité par une ou plusieurs structures	269	11.4	La reproduction de la vache	339
10.2	La compartimentation des cellules	275	11.5	La vache, un animal domestique	346
10.3	Les cellules, systèmes thermodynamiques ouverts	276	<b>12</b>	<b>Plans d'organisations et relation entre les organismes et leur milieu</b>	353
10.4	Une information génétique supportée par une molécule séquencée d'adn	277	12.1	Les mêmes fonctions pour tous les animaux	353
<b>TP1</b>	<b>Organisation fonctionnelle de la cellule</b>	280	12.2	Des structures convergentes associées à des fonctions comparables dans un milieu donné	360
1.1	Mise en œuvre de techniques d'études simples de la cellule	280	12.3	Les modalités de réalisation des fonctions en relation avec les caractéristiques des milieux	364
1.2	Observation et identification des éléments d'organisation de la cellule	288	<b>TP4</b>	<b>La souris</b>	371
1.3	Organisation fonctionnelle dans l'espace et dans le temps des cellules	302	4.1	Tégument des mammifères	371
<b>TP2</b>	<b>Nature, propriétés et techniques d'étude des biomolécules</b>	305	4.2	Morphologie de la souris	373
2.1	Électrophorèse de protéines en conditions native et dénaturante	305	4.3	Appareil cardio-respiratoire	374
2.2	Chromatographie de pigments photosynthétiques de chlorophyte et de rhodophyte	310	4.4	Appareil digestif	375
			4.5	Appareil urogénital	379
			<b>TP5</b>	<b>Un téléostéen</b>	384
			5.1	Observations avant dissection	384

5.2	Anatomie fonctionnelle des appareils reproducteur et digestif ; relations avec le milieu de vie	386		
5.3	Anatomie fonctionnelle de l'appareil respiratoire et relations avec le milieu de vie	387		
<b>TP6</b>	<b>Un crustacé (langoustine, écrevisse)</b>	390		
6.1	Observation d'une écrevisse avant dissection	390		
6.2	Anatomie fonctionnelle des appareils circulatoire et respiratoire de l'écrevisse	392		
6.3	Anatomie fonctionnelle de l'appareil reproducteur de l'écrevisse	394		
6.4	Anatomie fonctionnelle de l'appareil digestif de l'écrevisse	394		
6.5	Anatomie fonctionnelle de la chaîne nerveuse abdominale de l'écrevisse	395		
<b>TP7</b>	<b>Le criquet</b>	397		
7.1	Morphologie et tégument du criquet	397		
7.2	Dissection des pièces buccales	400		
7.3	L'appareil respiratoire trachéen : stigmates et trachées	401		
7.4	Conclusions	401		
<b>13</b>	<b>Du rapprochement des gamètes à la fécondation chez les animaux et les végétaux</b>	403		
13.1	La reproduction d'un végétal aquatique fixé : le fucus	404		
13.2	Le rapprochement des gamètes : unité et diversité dans le monde vivant	406		
13.3	Des mécanismes favorisant la fusion entre gamètes de génomes différents	425		
13.4	La fusion des gamètes et la formation d'un nouvel individu	428		
13.5	La reproduction sexuée dans les cycles de développement	436		
<b>14</b>	<b>La reproduction asexuée</b>	443		
14.1	Modalités de la reproduction asexuée des angiospermes	443		
14.2	Caractéristiques de la reproduction asexuée	447		
14.3	Conséquences de la reproduction asexuée	448		
<b>15</b>	<b>Développement embryonnaire et acquisition du plan d'organisation</b>	452		
15.1	De l'ovocyte à la cellule œuf : l'acquisition des symétries radiaire et bilatérale	453		
15.2	La segmentation : l'acquisition de l'état pluricellulaire	459		
15.3	La gastrulation : les mouvements morphogénétiques et la mise en place des trois feuilletts embryonnaires	463		
15.4	L'organogenèse : mise en place des tissus, des organes et achèvement du plan d'organisation	473		
<b>16</b>	<b>Contrôle du développement embryonnaire</b>	484		
16.1	Analyse des caractéristiques d'une induction à l'échelle cellulaire	484		
16.2	Identification des molécules impliquées dans l'induction du mésoderme par les blastomères végétatifs	492		
16.3	Contrôle de l'évolution du mésoderme par des cascades d'induction	502		
16.4	Un exemple de différenciation : des territoires somitiques aux myocytes	509		
<b>TP8</b>	<b>Structures et cellules impliquées dans la reproduction</b>	523		
8.1	Localisation des cellules reproductrices des mammifères	523		
8.2	Observation des gamètes d'une algue, le fucus.	526		
8.3	Localisation des structures reproductrices des angiospermes	527		
8.4	Localisation des structures reproductrices du polypode	529		
<b>TP9</b>	<b>Le développement embryonnaire des amphibiens</b>	531		
9.1	Analyse des étapes du développement embryonnaire	531		
9.2	Cartes des territoires présomptifs	534		
9.3	Étude de la gastrulation à partir de modèles en polystyrène	535		
9.4	Réponses des cellules compétentes à un inducteur	535		
9.5	Analyses des interactions cellules-matrice extracellulaire	536		

<b>TP10 Les fleurs des angiospermes</b>	539	18.4 Contrôle de la transcription chez les eucaryotes	587
10.1 Étude pratique d'une fleur d'angiosperme : la morelle noire	539	18.5 La diversité des transcriptomes	594
10.2 Diversité de l'organisation florale en liaison avec le mode de pollinisation	542	<b>19 Duplication de l'information génétique, mitose et cycle cellulaire</b>	602
10.3 Détermination d'une espèce à l'aide d'une flore	547	19.1. Le cycle cellulaire	603
10.4 Place des angiospermes dans la classification	549	19.2 La diversité des protéines impliquées dans la réplication de l'adn	604
<b>TP11 Fruits et graines</b>	552	19.3 Conservation de l'information génétique lors du fonctionnement de la fourche de réplication	606
11.1 Grands traits de l'organisation des fruits et des graines	552	19.4 Les origines des erreurs de réplication et conséquences	610
11.2 Adaptation de l'organisation des graines et des fruits au mode de dissémination	555	19.5 La mitose, mécanisme de répartition égale du matériel génétique entre les deux cellules filles	614
<b>La biodiversité et sa dynamique</b>			
<b>17 Structure du génome des eubactéries et des eucaryotes</b>	560	<b>20 La diversification des génomes : mutations et brassages génétiques</b>	618
17.1 Le support de l'information génétique	560	20.1 La diversité des mutations à l'origine de la diversification des génomes	619
17.2 Les particularités du génome des eubactéries	567	20.2 Diversification des génomes par brassage des allèles associé à la sexualité	630
17.3 Les particularités du génome des eucaryotes	568	20.3 Diversification des génomes par transferts horizontaux de gènes	644
17.4 Le dynamisme du support de l'information génétique nucléaire et son expression	570	<b>TP12 Quelques outils pour l'étude des génomes</b>	653
<b>18 L'expression du génome : la transcription et son contrôle</b>	575	12.1 Séparer des fragments de restriction d'ADN par électrophorèse sur gel	653
18.1 De l'adn à l'arn : le mécanisme de la transcription	575	12.2 Étudier des séquences nucléotidiques	656
18.2 Maturation post-transcriptionnelle : de l'arn pré-messager à l'arn messenger	580	12.3 Quelques techniques de biologie moléculaire	658
18.3 Contrôle de la transcription chez les eubactéries	582	<b>TP13 Chromosomes, mitose et méiose</b>	665
		13.1 Identification des phases de la mitose et de la méiose	666
		13.2 Résultats de croisement chez sordaria	670
		13.3 Analyse de caryotypes	671
		13.4 Le contrôle du cycle cellulaire	672

Fiches méthode		Corrigés des exercices	696
<b>Fiche 1</b>	Faire un plan	Chapitre 1	696
<b>Fiche 2</b>	Rédiger une introduction et une conclusion	Chapitre 2	697
<b>Fiche 3</b>	Rédiger un devoir de synthèse	Chapitre 3	699
<b>Fiche 4</b>	Réaliser un schéma de synthèse	Chapitre 4	700
<b>Fiche 5</b>	Analyser un document	Chapitre 5	702
<b>Fiche 6</b>	Analyser une micrographie	Chapitre 6	704
<b>Fiche 7</b>	Réussir une khôlle	Chapitre 7	705
<b>Fiche 8</b>	Réaliser un herbier	Chapitre 8	707
<b>Fiche 9</b>	Gérer le passage de 1 <sup>re</sup> en 2 <sup>e</sup> année	Chapitre 9	708
		Chapitre 10	710
		Chapitre 11	711
		Chapitre 12	712
		Chapitre 13	713
		Chapitre 14	715
		Chapitre 15	716
		Chapitre 16	719
		Chapitre 17	722
		Chapitre 18	722
		Chapitre 19	723
		Chapitre 20	724
		TP9	724
		<b>Bibliographie</b>	728
		<b>Index</b>	730

# Avant propos

Le manuel « Tout en un BCPST 1<sup>re</sup> année » a été rédigé, par une équipe composée de professeurs de classe préparatoire BCPST et d'universitaires.

Cette édition est nouvelle sur divers points. Des chapitres ont été profondément remaniés. D'autres ont subi des modifications ponctuelles. Des fiches méthode ont été adaptées aux nouvelles modalités des concours. Des apports conséquents complètent le **site numérique** essentiellement dédié à divers sujets corrigés.

Chacun des items du programme est clairement affiché au début du paragraphe de cours qui l'illustre. Ils apparaissent dans un cartouche sur fond coloré, portant la mention « **Connaissances clés** » ou « **Capacités exigibles** ». Les « **liens** » avec d'autres chapitres, TP ou disciplines, mentionnés dans le programme, sont repris et parfois complétés, sous la forme d'un encadré à la fin du cours.

La page d'entrée de chapitre comporte le plan, l'introduction, et un encadré qui reprend les **notions acquises du lycée**. En marge du texte, sont indiqués les **renvois** utiles vers d'autres chapitres. Divers encarts ponctuent le cours pour aller plus loin en apportant des précisions techniques, historiques. Des **exercices intégrés** sont proposés au fil des cours et des TP, pour illustrer une notion du programme. Leur corrigé suit immédiatement l'énoncé. Des **résumés** clairement identifiés terminent chaque grande partie de chapitre. La partie « **Réviser** » comporte un résumé général, « **l'essentiel** », une figure de synthèse, les mots-clés et une rubrique de mise en garde sur les erreurs à ne pas commettre. La partie « **S'entraîner** » comporte des sujets de synthèse ainsi que des analyses de documents dont les corrigés figurent en fin d'ouvrage. Enfin, diverses « **Fiches méthodes** » relatives à l'analyse d'un document, la rédaction d'un sujet de synthèse, l'interrogation orale... apportent des conseils pratiques. Les **travaux pratiques**, abondamment illustrés par des clichés photographiques et des schémas, sont exposés à la suite de la partie de cours qu'ils illustrent. Un certain nombre d'entre eux comporte un lien vers le site [dunod.com](http://dunod.com) où le protocole de diverses dissections est téléchargeable.

Des **rabats de couverture** permettent au lecteur de trouver des informations générales utiles dans les divers domaines du programme. À savoir : une échelle de dimensions des objets biologiques les plus courants, une chronologie des découvertes importantes en relation avec les notions du programme, une classification des divers groupes abordés dans l'ouvrage, diverses illustrations...

Des **compléments en ligne** sont présentés en détail p. IX et accessibles sur le site [dunod.com](http://dunod.com), complètent cette édition. Ils comportent, entre autre, divers sujets corrigés d'épreuves écrites et orales, d'autres exercices d'analyse de documents, des vidéos de dissection...

Ainsi, ce nouveau manuel et ses compléments en ligne proposent un large choix d'**exercices d'entraînement** accompagnés de leur corrigé.



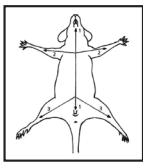
# Les plus en ligne

LES + EN



sont des contenus complémentaires à ce livre.

Vous y trouverez



des protocoles de dissection



des vidéos de dissection



des sujets d'annales corrigées et d'exercices d'entraînement



des sites avec des ressources complémentaires

## COMMENT ÇA MARCHE ?



1

Je me rends sur la page de mon livre sur [dunod.com](https://www.dunod.com)

2

Je trouve mes



LES + EN LIGNE  
10 contenus complémentaires avec ce livre  
sous la présentation de mon livre

3

J'accède à la liste des contenus, en accès classés par **CATÉGORIE**



**RÉSERVÉ**

Je me munis de mon livre



J'entre le demandé

**MOT DE PASSE**

4

Je clique et c'est téléchargé



# PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE

## Le cours

## Structure du génome des eubactéries et des eucaryotes

### CHAPITRE 17

#### Plan

- 17.1 Le support de l'information génétique
- 17.2 Les particularités du génome des eubactéries
- 17.3 Les particularités du génome des eucaryotes
- 17.4 Le dynamisme du support de l'information génétique nucléaire et son expression

#### Introduction

L'unité de constitution du vivant, la cellule, est un système hautement organisé dans sa structure et dans son fonctionnement à la fois dans l'espace et dans le temps. L'édition de cette organisation, son maintien et son fonctionnement reposent sur l'expression de son information génétique.

- Où est localisée l'information génétique ?
- Quelles sont la nature et les caractéristiques du support de cette information ?

#### Ce que vous avez vu au lycée

- La transgénèse montre que l'information génétique est contenue dans la molécule d'ADN et qu'elle y est inscrite dans un langage universel.
- L'universalité du rôle de l'ADN est un indice de la parenté des êtres vivants.
- Les chromosomes sont des structures constantes des cellules eucaryotes qui sont dans des états de condensation variables au cours du cycle cellulaire.

### 17.1 LE SUPPORT DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE

#### Connaissances clés

L'ensemble des molécules d'ADN contenues dans une cellule et l'information qu'elles portent forment son génome. Chez les eubactéries, le génome à localisation cytoplasmique est formé d'un chromosome circulaire et éventuellement de plasmides. Chez les eucaryotes, on distingue le génome nucléaire et le génome des organites. Le génome nucléaire est constitué de chromosomes.

#### Capacités exigibles

- On ne détaille pas l'organisation moléculaire du chromosome bactérien.
- Comparer les génomes des eubactéries et des eucaryotes, les grands traits de leur organisation, de leur expression.
- Étudier les similitudes entre le génome extranucléaire eucaryote et celui des eubactéries
- Utiliser des résultats de techniques de séquençage pour analyser et décrire les génomes.

560

Les connaissances acquises au Lycée

Les connaissances clés

Les capacités exigibles

Des résumés de fin de paragraphe

Des renvois en marge aux autres parties du programme

Les liens avec les autres chapitres et TP

### Chapitre 4 - Échanges et membranes

#### En résumé...

Les processus d'endocytose sont donc très divers. Cette diversité porte à la fois sur le contenu et le contenu. Les vésicules formées sont soit recouvertes, soit nues. L'endocytose peut ou non impliquer l'intervention de récepteurs. Comme l'exocytose, l'endocytose implique de nombreuses interactions moléculaires dont certaines nécessitent de l'énergie : à ce titre, elle peut aussi être rangée dans les transports actifs en rappelant toutefois qu'il s'agit d'un transport en masse.

#### 4.3.3 Endocytose et exocytose

Nous venons de signaler qu'il s'agit de processus complémentaires, l'un compensant l'autre. Ils interviennent tous les deux dans la dynamique membranaire, le recyclage des membranes, et peuvent s'accompagner de transformations de la composition membranaire.

Ces processus sont également associés dans la traversée de « barrières » cellulaires. Les vésicules d'endocytose formées à un pôle de la cellule transitent dans le cytoplasme pour rejoindre le plasmalemma opposé où elles sont exocytées. Il s'agit de **transcytose**, mécanisme impliquant des vésicules en général lisses. Un tel transport est courant dans les cellules endothéliales des capillaires où il permet le transfert de grosses molécules entre le plasma et la lymphe interstitielle. Enfin l'exocytose comme l'endocytose permettent de contrôler le nombre de récepteurs présents à la surface du plasmalemma et donc la réactivité d'une cellule cible à un message. Des vésicules riches de récepteurs de certains messagers hormonaux (insuline). Une exocytose rapide permet d'exposer ces récepteurs et de les rendre fonctionnels. Une endocytose impliquant le secteur du plasmalemma dans lequel ils sont insérés les rend momentanément inactifs.

Il en est de même pour la modulation de l'absorption du glucose au niveau des myocytes et des adipocytes par exemple, des vésicules sous-membranaires riches en glucose-transporteurs peuvent être exocytées lors de la réception d'un signal hypoglycémique (insuline) ce qui accroît rapidement la capacité d'absorption du glucose par les cellules cibles.

Soulignons pour terminer quelques notions importantes :

- L'endocytose et l'exocytose sont des processus fondamentalement associés au fonctionnement du cytosquelette (microtubules et microfilaments en particulier) et sont donc absents chez les procaryotes.

- Les cellules végétales réalisent également de l'exocytose dès la constitution du phragmoplaste puis lors de leur croissance par apposition de matériaux pariétaux sur la face interne de leur paroi.
- Enfin, soulignons le point commun entre ces processus d'échanges entre milieux intra- et extracellulaires et ceux qui participent à la réalisation de transferts souvent réciprocques entre compartiments dans le cadre du trafic cellulaire. Le transport de vésicules du réticulum vers le Golgi fait intervenir d'autres protéines de revêtement, les coatomères. En retour, d'autres vésicules du Golgi reviennent au réticulum. Ces échanges impliquent la constitution de vésicules tant lisses que recouvertes, de clathrine ou de coatomères.

Voir Biologie Tout-et-Un 2<sup>e</sup> année

Voir exo site compagnon

Voir chapitre 6

Liens

- Cours : ch. 3 sur l'organisation et les propriétés des membranes ; ch. 5 sur la membrane plasmique et les communications nerveuses pour le fonctionnement des canaux de fuite et leur importance aux côtés de la pompe Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATP dépendante dans la genèse et l'entretien d'un potentiel de membrane (potentiel de repos), pour les relations structurées entre compartiments dans le cadre du trafic cellulaire. Le transport de vésicules du réticulum vers le Golgi fait intervenir d'autres protéines de revêtement, les coatomères. En retour, d'autres vésicules du Golgi reviennent au réticulum. Ces échanges impliquent la constitution de vésicules tant lisses que recouvertes, de clathrine ou de coatomères.
- Cours : ch. 3 sur l'organisation et les propriétés des membranes ; ch. 5 sur la membrane plasmique et les communications nerveuses pour le fonctionnement des canaux de fuite et leur importance aux côtés de la pompe Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATP dépendante dans la genèse et l'entretien d'un potentiel de membrane (potentiel de repos), pour les relations structurées entre compartiments dans le cadre du trafic cellulaire. Le transport de vésicules du réticulum vers le Golgi fait intervenir d'autres protéines de revêtement, les coatomères. En retour, d'autres vésicules du Golgi reviennent au réticulum. Ces échanges impliquent la constitution de vésicules tant lisses que recouvertes, de clathrine ou de coatomères.

24

## 2.1.2 Électrophorèse sur gel de polyacrylamide-SDS

### ENCART TP2.1 Électrophorèse SDS-PAGE (condition dénaturante)

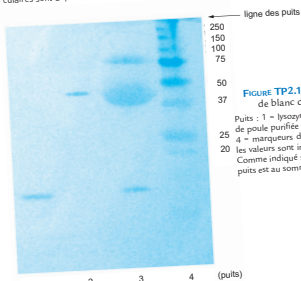
Cette technique est aussi nommée SDS-PAGE (SDS PolyAcrylamide-Gel-Electrophoresis). Le gel de polyacrylamide est une matrice inerte qui se comporte comme un tamis moléculaire. L'extrait protéique est soumis à deux agents :

- Un puissant **réducteur** (ex. : DithioTréitol, mercaptoéthanol) **entraîne la rupture des ponts disulfures. Les protéines sont ainsi séparées des molécules qui pouvaient leur être associées** (autres protéines, lipides). Elles adoptent alors une forme linéaire ce qui élimine le facteur encombrement, paramètre important de la vitesse de migration.
- le SDS (Sodium Dodécyl Sulfate). Ce puissant **détergent chargé négativement** se lie aux secteurs hydrophobes de la molécule et provoque leur **déroulement**, les rendant ainsi solubles. La quantité de molécules de SDS fixées sur une protéine est globalement proportionnelle à sa masse moléculaire et leur **grand nombre masque la charge propre de la protéine**. La densité de charges sur chaque protéine de l'extrait est donc approximativement la même et le champ électrique responsable de la migration agit avec une force directement proportionnelle à la masse des molécules protéiques de l'extrait. **Le seul paramètre qui conditionne alors la migration est la masse moléculaire. L'utilisation de protéines de masse connue permet de mettre en relation la distance de migration et la masse moléculaire soit de calibrer le gel.**

Compétences 1.1 et 2.2

### EXERCICE Analyse d'un résultat d'électrophorèse SDS-PAGE

Du blanc d'œuf de poule est dilué puis étudié grâce à une électrophorèse SDS-PAGE. En parallèle du blanc d'œuf du lysosyme purifié et de l'ovalbumine purifiée ainsi que des marqueurs de masses moléculaires sont déposés dans le gel. Le résultat est révélé au bleu de Coomassie (figure TP2.1).



**FIGURE TP2.1** Électrophorogramme de blanc d'œuf (SDS-PAGE). Puits : 1 = lysosyme purifié ; 2 = œuf/blanc de poule purifié ; 3 = blanc d'œuf de poule ; 4 = marqueurs de masses moléculaires dont 20 les valeurs sont indiquées à droite (KDa/ton). Comme indiqué sur le document, la ligne des puits est au sommet du cliché.

1. Analysez le résultat obtenu.

Des encarts apportant des informations complémentaires sur :

- Un point du cours ou du TP
- Une technique ou un protocole
- Des informations historiques

Des exercices intégrés au cours ou aux TP avec en marge l'indication des compétences associées

De nombreuses figures en couleurs illustrent les chapitres

## Chapitre 3 - Membranes cellulaires : organisation, propriétés et interrelations structurales

Voir chapitre 4, § 4.3

Voir chapitre 6, § 6.2.1 et § 6.2.3c

L'hémimembrane interne est également plus riche en AGI. Elle est donc plus fluide et plus souple (importance dans les mouvements cytotiques). L'hémimembrane externe avec la sphingomyéline, glycolipide, est la seule à comporter des motifs osidiques qui constituent des margomères cellulaires.

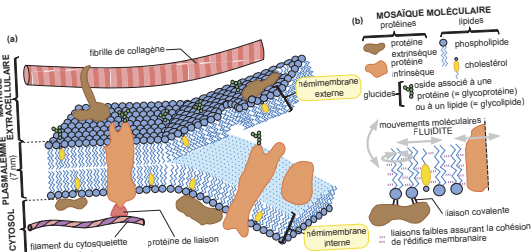
Ainsi existe-t-il à un moment donné une différence de composition entre les deux faces (extracellulaire et cytosolique) d'un même secteur du plasmalemmes. On parle d'**asymétrie membranaire**. Cette propriété vaut également pour toutes les protéines. L'origine de ces arrangements stricts est abordée dans le chapitre 7, § 7.1.

Les endomembranes montrent également une telle asymétrie pour les lipides et les protéines. Les crêtes mitochondriales et les thylacoïdes portent des ATP synthases dont les têtes sont tournées vers les matrices.

À plus grande échelle, des cellules polarisées comme celles des épithéliums ont un plasmalemme apical différent des plasmalemmes des faces latérale et basale en raison de la présence de jonctions serrées qui limitent la diffusion latérale des composants membranaires (figure de synthèse).

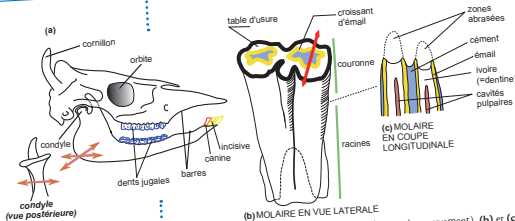
En résumé...

La membrane plasmique apparaît comme une interface mince (moins d'une dizaine de nm) limitant la périphérie du cytoplasme. Sa trame est constituée par une bicouche de phospholipide dans laquelle s'insèrent des protéines dites intrinsèques. Des protéines extrinsèques peuvent se lier sur ses deux faces. L'abondance de liaisons faibles autorise des déplacements permanents des molécules constitutives au sein de cette membrane. Les deux hémimembranes qui la constituent sont différentes. Nous sommes en présence d'une mosaïque fluide et asymétrique (figure 3.9). Les endomembranes présentent une composition originale en protéines confère des propriétés spécifiques à chaque compartiment qu'elles délimitent.



**FIGURE 3.9** (a) Le modèle de la mosaïque fluide (adapté de Singer et Nicolson) ; (b) les liaisons qui assurent la cohésion de l'édifice et les diverses mobilités des molécules.

## Chapitre 11 - Regards sur l'organisme animal, la vache (Bos taurus, mammifère bovidé)

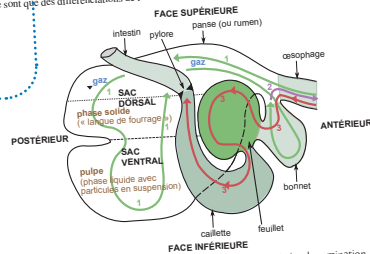


**FIGURE 11.5** (a) Squelette céphalique (les flèches indiquent le sens du mouvement). (b) et (c) Dent jugale : aspect général et coupe longitudinale (la double flèche indique le plan de coupe).

Le **cément** est une variété de tissu osseux qui recouvre la couronne dentaire et la racine.

L'**esophage** conduit les aliments jusqu'à un **estomac** original, de très grande taille (il occupe les 3/4 de la cavité abdominale), subdivisé en quatre poches de tailles inégales (figure 11.6) :

- côté gauche : la **panse** ou rumen (= 200 litres) partiellement subdivisée en un sac dorsal et un sac ventral tous deux à muqueuse lisse, et le **bonnet** (= 15 litres) à muqueuse alvéolée (disposition en nid-d'abeilles) ;
- côté droit : le **feuillet** (= 20 litres) dont la muqueuse porte de nombreux replis ;
- face inférieure : la **caillotte** (= 20 litres). La paroi des trois poches précédentes ne produit aucune hydrolyse. Seule la caillotte est l'homologue de l'estomac des autres mammifères, avec une muqueuse dotée de glandes sécrétrices de protéases et d'acide chlorhydrique. Les autres poches ne sont que des différenciations de l'extrémité de l'esophage et méritent le nom de **pré-estomac**.



**FIGURE 11.6** Le tube digestif de la vache (vue latérale droite) et la rumination. Les étapes (1, 2, 3) du circuit du bol alimentaire sont indiquées et numérotées dans l'ordre chronologique.



Des TP richement illustrés

TP 6

Il est possible d'inciser l'estomac à l'aide de ciseaux fins pour observer des dents chitineuses médianes et latérales ainsi que des lamelles calcifiées qui constituent le moulin gastrique. L'estomac comporte 2 parties : la **région cardiaque** antérieure et la **région pylorique** postérieure (figure TP6.6). La région cardiaque est volumineuse. Elle participe à la trituration et au broyage des aliments grâce au **moulin gastrique actionné par des muscles développés**. La nourriture traverse un canal étroit muni de soies jouant le rôle de filtre et atteint la région pylorique. L'estomac peut contenir par ailleurs deux **gastrolithes** : ces concrétions calcaires sont une **réserve de calcium** utilisable lors de la prochaine mue. Une partie de l'**hépatopan-** La nourriture, liquide, passe dans l'intestin moyen relié à un caecum. Une partie de l'**hépatopan-** crées (de couleur jaune ou verte) sécrète une enzyme cellulaire permettant la digestion des aliments (parois des cellules végétales) à son niveau ainsi qu'au niveau de l'intestin moyen. L'intestin conduit le bol alimentaire jusqu'à l'anus.

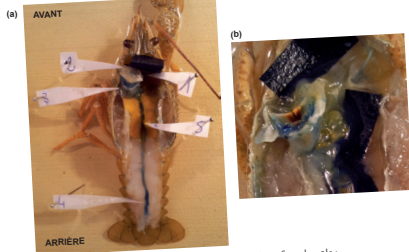


FIGURE TP6.6 Le tube digestif de l'écrevisse, face dorsale : (a) esomac intacte ; (b) esomac ouvert. De 1 à 4 : tube digestif ; 1 : oesophage ; 2 : région cardiaque de l'estomac ; 3 : région pylorique de l'estomac ; 4 : intestin ; 5 : hépatopancréas (glande associée au tube digestif).

6.5 ANATOMIE FONCTIONNELLE DE LA CHAÎNE NERVEUSE ABDOMINALE DE L'ÉCREVISSE

La chaîne nerveuse est ventrale (figure TP6.7). C'est une caractéristique des protostomiens. Elle apparaît tonduiside et brillante, plaquée entre les muscles et la cuticule. Le système nerveux de l'écrevisse est à disposition mélanterique (1 paire de ganglions nerveux par métamère) comme chez tous les quadrupèdes. L'abdomen comprend 6 métamères et 6 paires de ganglions abdominaux (figure TP6.7a). Ces paires de ganglions sont reliées par des connectifs (figure TP6.7b). Les ganglions d'une même paire sont réunis par une commissure transversale mais cette structure, de sorte que les deux ganglions semblent ne former qu'une seule masse (figure TP6.7b). Les ganglions sont reliés aux organes (ex. : muscles contrôlant le mouvement des appendices abdominaux, organes sensoriels) par des **nerfs** moteurs, sensitifs ou mixtes selon le cas.

395

TP 10

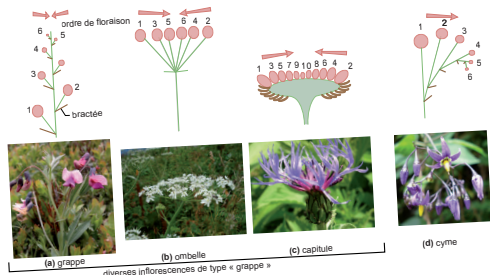


FIGURE TP10.12 Inflorescences indéfinies. (a) Grappe de grasse (*Lolium montanum*, fabacées) ; (b) ombelle d'ambellules de berce (*Henocclum spodiolum*, apiacées) ; (c) capitule de bleue (*Centaurea montana*, astéracées) ; (d) inflorescence définie, cyme (*Solanum dulcamara*, solanacées). Les chiffres 1 à 6 indiquent l'ordre d'épanouissement des fleurs.

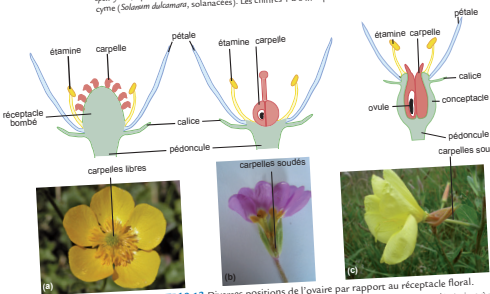


FIGURE TP10.13 Diverses positions de l'ovaire par rapport au réceptacle floral. (a) Ovaire supérieur et carpelles libres (renoncule) ; (b) ovaire supérieur et carpelles soudées (primérose, primulacées) ; (c) ovaire inférieur et carpelles soudées (maigre, gonolifracées).

551

Des fiches méthodes qui regroupent des conseils

1 Faire un plan

- Un plan bien structuré est un outil efficace pour présenter vos connaissances. Il doit mettre en valeur le cheminement de votre pensée, votre raisonnement. Apprendre à réussir sa construction s'inscrit dans le cadre de l'acquisition de la compétence « Construire une argumentation scientifique en articulant différentes références ».
- Lisez le sujet pour bien le comprendre**
    - Lisez très attentivement le sujet ; soulignez les mots importants qui seront définis dans l'introduction. C'est en réfléchissant à la signification de ces termes que vous comprendrez le problème posé par le sujet et le délimitez. Prenez une attention particulière à la ponctuation et aux mots de liaison.
    - Procédez à un quadrillage par des questions systématiques. Quelles structures sont concernées par le sujet ? (Qui ?) Quels mécanismes étudier ? (Comment ?) Où ? Quand ? Y a-t-il des variations, dans le temps, dans l'espace, d'un organisme à un autre ?
    - À la fin de cette étape, cherchez à reformuler le sujet avec vos propres mots. Attention : ne le confondez pas avec un autre de libellé proche ; cernez bien ses limites.
  - Repérez le champ des connaissances utiles**

En quelques minutes, notez au brouillon, les différentes parties du cours qui se rapportent au sujet. Concentrez-vous : mobilisez rapidement les points essentiels des chapitres du programme ; écartez ceux et seulement ceux qui ne concernent pas le sujet.

Ce bref survol du programme peut vous conduire à repérer les limites définies à l'étape 1.
  - Recherchez la logique de votre plan**

Le plan doit comporter un petit nombre de grandes parties (deux à quatre). Les points abordés dans chaque grande partie sont de même importance et s'enchaînent logiquement. Ils couvrent tout le sujet sans sortir du cadre du sujet ; vérifiez le souvent en vous référant à l'étape 1.
- Une façon de tester l'adéquation de votre construction au sujet posé est de voir si quelque un ignorant le sujet serait capable de le retrouver en lisant les titres des grandes parties.
- Organisez la matière première du devoir
    - À partir des points (très généraux) recensés à l'étape 2, faites au brouillon l'inventaire des connaissances précises utiles au sujet. Ne retenez que celles qui répondent aux questions dégagées dans l'étape 1. Référez-vous fréquemment au quadrillage du sujet effectué alors.
    - Structurez cet inventaire. Repérez, par exemple en les surlignant, les points les plus importants. Séparez en deux colonnes distinctes, d'un côté les idées importantes, de l'autre les faits (expériences, détail des mécanismes, organisation des structures biologiques) qui démontrent ou précisent ces idées.
  - Trouvez une logique adaptée au sujet
    - Si les étapes précédentes ont été bien menées, dans la colonne « idées » apparaît un petit nombre de points importants, pouvant être regroupés logiquement. Le plan est alors une suite logique d'idées, de thèmes : c'est un plan thématique.
    - Vous pouvez aussi essayer d'adapter quelques enchaînements classiques. Par exemple, dans un plan fonctionnel, les grandes parties correspondent chacune à l'étude d'une des fonctions d'une entité biologique. Ou encore, lorsque le sujet porte sur l'étude d'un processus, un plan suit le déroulement de ce processus, puis vous étudiez son fonctionnement, pour terminer par les mécanismes de contrôle. Si le sujet porte sur plusieurs mécanismes, pensez à privilégier un plan comparatif, plutôt que de faire une étude successive.
  - Préparez vos conclusions. À ce stade de votre travail, résumez ce que vous avez appris à démontrer dans chaque partie. Cela vous servira de matière première pour rédiger les bilans partiels à la fin de chaque partie et la conclusion finale.

676

9 Gérer le passage de 1<sup>re</sup> en 2<sup>e</sup> année

- Vous êtes admis en BCPST2. Bravo ! Une étape est franchie mais ce n'est là qu'une étape. La seconde année est celle des concours et leurs épreuves, écrites comme orales, portent sur le programme des deux années de la classe préparatoire. Plusieurs points importants doivent être notés.
- En deuxième année, chaque programme d'interrogation (ou programme de Kholle) de SVT porte sur deux semaines d'enseignement du programme de BCPST2 auxquelles s'ajoute celui de trois semaines de cours de biologie de SVT. Les devoirs surveillés de BCPST2 constituent des révisions ; ces programmes de Kholles sont donc volumineux.
- Le rythme des Kholles et des devoirs surveillés est élevé (2 Kholles et 1 devoir surveillé par semaine). Des devoirs « maison » peuvent s'y ajouter.
- Au cours de l'année, les devoirs surveillés voient leurs sujets se rapprocher de plus en plus de sujets de concours et porter sur une part de plus en plus grande du programme.
- Les cours de deuxième année reprennent et complètent souvent des notions ouvertes en première année. Une bonne compréhension du cours exige donc que vous arriviez en deuxième année en ayant revu le cours de première année.
- La masse de travail personnel à fournir est donc importante. Pour réussir à intégrer une Grande École, un étudiant de CPGE doit donc être acquis à l'idée d'un travail soutenu et d'un effort continu de longue durée (sur 2 ou 3 années). Il faut considérer qu'il est possible d'intégrer dès la première tentative et l'environnement qui en cas de nécessité (en cas d'échec ou pour obtenir une école plus conforme à ses souhaits). Réussir suppose donc, outre l'aptitude au travail, une motivation de long terme et une bonne santé physique et psychologique. Ce sont ces qualités qui sont requises pour le métier que vous avez choisi.
- Enfin, il n'y a pas de discipline accessoire. Dans un concours, tous les points comptent et la différence d'échec ou pour obtenir une école plus conforme à ses souhaits. Réussir suppose donc, outre l'aptitude au travail, une motivation de long terme et une bonne santé physique et psychologique. Ce sont ces qualités qui sont requises pour le métier que vous avez choisi.
- Enfin, il n'y a pas de discipline accessoire. Dans un concours, tous les points comptent et la différence d'échec ou pour obtenir une école plus conforme à ses souhaits. Réussir suppose donc, outre l'aptitude au travail, une motivation de long terme et une bonne santé physique et psychologique. Ce sont ces qualités qui sont requises pour le métier que vous avez choisi.
- Alors que faire pendant vos vacances d'été pour optimiser vos chances de réussite ?
- Entretenez vos connaissances et reliez les autant que possible à du concret**

Où que vous passiez vos vacances : entretenez vos connaissances et reliez-les autant que possible à du concret ! Pensez à la mise en pratique des cours et TP à contenu naturaliste. Vous pourrez alors observer, réfléchir, lire et vous intéresser à...

    - La géologie**

Il existe des Guides Géologiques Régionaux (entre autres ceux publiés par les Éditions Dunod) pour accompagner le programme de géologie de la classe préparatoire. Vous pouvez les consulter chaque région de métropole. Vous pouvez les consulter pour tracer vos itinéraires de promenades et, muni de votre matériel, recueillir des échantillons. À la fin de la géologie en main, recueillir des échantillons. À la fin de la géologie en main, recueillir des échantillons. À la fin de la géologie en main, recueillir des échantillons. À la fin de la géologie en main, recueillir des échantillons.
    - La flore**

Il n'y a pas de « honte » à se promener avec sa flore, une loupe et une forte épingle de broche en guise de pince à dissection ; c'est même vivement conseillé ! C'est à l'occasion :
 
      - d'identifier les familles, les genres et les espèces les plus communes ;
      - de constituer un herbier (voir la fiche méthode n° 2) ;
      - de reconnaître les arbres et les arbustes (perle, feuilles, écorce) fruitiers et forestiers à la faveur de promenades champêtres ou forestières ;
      - de visiter et revisiter jardins potagers, vergers, grandes cultures pour y reconnaître les plantes cultivées les plus communes, leurs fruits, leurs graines sans oublier les plantes sauvages (« mauvaises ») sans oublier les plantes sauvages (« mauvaises »).

694

# Abréviations

<b>A</b>	région antérieure	<b>CTP</b>	cytosine triphosphate
<b>A</b>	adénine	$\Delta\mu\text{H}^+$	différence de potentiel électrochimique de protons (force proton-motrice)
<b>ACh</b>	Acétylcholine	<b>D</b>	région dorsale
<b>AChE</b>	Acétylcholine estérase	<b>Da</b>	Dalton
<b>ADN</b>	acide désoxyribonucléique	<b>DAG</b>	diacylglycérol
<b>ADNbc</b>	acide désoxyribonucléique bicaténaire	<b>DHAP</b>	dihydroxyacétone phosphate
<b>ADNc</b>	acide désoxyribonucléique complémentaire	<b>dNDP</b>	désoxyribonucléotide di-phosphate
<b>ADNct</b>	acide désoxyribonucléique chloroplastique	<b>dNMP</b>	désoxyribonucléotide mono-phosphate
<b>ADNmt</b>	acide désoxyribonucléique mitochondrial	<b>dNTP</b>	désoxyribonucléotide tri-phosphate
<b>ADN pol</b>	ADN polymérase	<b>DTT</b>	dithiotréitol
<b>ADP</b>	adénosine diphosphate	<b>E'</b>	potentiel redox réel
<b>AGI</b>	acide gras insaturé	<b>E°'</b>	potentiel redox standard
<b>AGS</b>	acide gras saturé	<b>ESB</b>	encéphalopathie spongiforme bovine
<b>AGNS</b>	acide gras non saturé	<b>FAD</b>	flavine-adénine dinucléotide
<b>AMP</b>	adénosine monophosphate	<b>FGF</b>	facteur de croissance fibroblastique
<b>AMP<sub>c</sub></b>	adénosine monophosphate cyclique	<b>Fuc</b>	fucose
<b>A.N.</b>	application numérique	<b>G</b>	guanine
<b>AQP</b>	aquaporine	<b>GABA</b>	acide $\gamma$ aminobutyrique
<b>ARN</b>	acide ribonucléique	<b>GAG</b>	glycosaminoglycane
<b>ARNm</b>	acide ribonucléique messenger	<b>Gal</b>	galactose
<b>ARNr</b>	acide ribonucléique ribosomien	<b>Gal3P</b>	glycéraldéhyde 3-phosphate
<b>ARNt</b>	acide ribonucléique de transfert	<b>Glc</b>	glucose
<b>ARN pol</b>	ARN polymérase	<b>GDP</b>	guanosine diphosphate
<b>ATP</b>	adénosine triphosphate	<b>GMP</b>	guanosine monophosphate
<b>BET</b>	bromure d'éthidium	<b>GMP<sub>c</sub></b>	guanosine monophosphate cyclique
<b>bHLH</b>	basique hélice-boucle-hélice	<b>GTP</b>	guanosine triphosphate
<b>BMP</b>	protéine morphogénétique osseuse	<b>G1P</b>	glucose 1-phosphate
<b>C</b>	cytosine	<b>G6P</b>	glucose 6-phosphate
<b>CDP</b>	cytosine diphosphate	<b>HAT</b>	histone acétyltransférase
<b>CK</b>	cytokinine	<b>Hb</b>	hémoglobine
<b>CMP</b>	cytosine monophosphate	<b>HDAC</b>	histone désacétylase
<b>CoA</b>	coenzyme A	<b>HDL</b>	<i>High density lipoprotein</i> (lipoprotéine de haute densité)
<b>CoE</b>	coenzyme E	<b>HK</b>	hexokinase
<b>COMT</b>	centre organisateur des microtubules		
<b>cP</b>	centipoise		

<b>HRE</b> <i>Hormone Response Element</i> (élément de réponse aux hormones)	<b>Pi</b> phosphate inorganique ou encore orthophosphate
<b>HSP</b> <i>Heat Shock Protein</i> (protéine de choc thermique)	<b>PKA</b> protéine kinase AMP <sub>c</sub> dépendante
<b>IDL</b> lipoprotéine de densité intermédiaire	<b>PKG</b> protéine kinase GMPc dépendante
<b>kb</b> kilobase	<b>PPi</b> pyrophosphate inorganique
<b>kDa</b> kilodalton	<b>PPSE</b> potentiel post-synaptique excitateur
<b>kJ</b> kiloJoule	<b>PQ</b> plastoquinone
<b>KO</b> « Knock-Out »	<b>PS I</b> photosystème I
<b>LDL</b> <i>Low density lipoprotein</i> (lipoprotéine de basse densité)	<b>PS II</b> photosystème II
<b>MEB</b> microscopie électronique à balayage	<b>PV</b> pôle végétatif
<b>MEC</b> matrice extracellulaire	<b>Q</b> quinone
<b>MET</b> microscopie électronique à transmission	<b>REG (ou RER)</b> reticulum endoplasmique granuleux (ou rugueux)
<b>MLC</b> chaîne légère de la myosine	<b>REL</b> reticulum endoplasmique lisse
<b>MM</b> masse moléculaire	<b>RuBiP</b> ribulose 1-5 biphosphate
<b>MO</b> microscopie optique	<b>Rubisco</b> ribulose biphosphate carboxylase-oxygénase
<b>MRFs</b> facteurs régulateurs de la myogénèse	<b>SDS</b> Sodium Dodécyl Sulfate
<b>MTOC</b> centre organisateur des microtubules	<b>Shh</b> Sonic-hedgehog
<b>MyoD</b> <i>Myogenic determination factor D</i>	<b>SNARE</b> récepteur de protéine SNAP ( <i>Soluble N-ethylmaleimide sensitive factor attachment protein</i> )
<b>Myf-5</b> <i>Myogenic factor 5</i>	<b>SSB</b> (protéine -) <i>Single-Stranded Binding</i> (protéine stabilisatrice de l'ADN)
<b>nAChR</b> récepteur nicotinique à l'acétylcholine	<b>T</b> thymine
<b>NAD</b> nicotinamide-adénine-dinucléotide	<b>Te</b> thymine forme énoil
<b>NADP</b> nicotinamide-adénine-dinucléotide-phosphate	<b>TTP</b> thymidine triphosphate
<b>NAG</b> N-acétyl glucosamine	<b>TB</b> transition blastulénne
<b>NcoR</b> corépresseur	<b>Tk</b> thymine forme cétone
<b>NDP</b> nucléotide diphosphate	<b>TEA</b> ions tétra-éthyl-ammonium
<b>NMP</b> nucléotide mono-phosphate	<b>TTX</b> tétrodotoxine
<b>no</b> nombre d'oxydation	<b>TGF</b> facteur de croissance transformant
<b>NTP</b> nucléotide tri-phosphate	<b>U</b> uracile
<b>OGM</b> organisme génétiquement modifié	<b>UDP</b> uridine diphosphate
<b>ORF</b> <i>Open Reading Frame</i> (phase ouverte de lecture)	<b>UMP</b> uridine monophosphate
<b>P</b> région postérieure	<b>UTP</b> uridine triphosphate
<b>PA</b> pôle animal	<b>UV</b> ultra-violet
<b>PAGE</b> <i>PolyAcrylamide-Gel-Electrophoresis</i> (électrophorèse en gel de polyacrylamide)	<b>V</b> région ventrale
<b>pb</b> paires de bases	<b>Vd</b> voltage dépendant
<b>PCR</b> <i>Polymerase Chain Reaction</i> (polymérisation en chaîne)	<b>VLDL</b> <i>Very low density lipoprotein</i> (lipoprotéine de très basse densité)
<b>pdb</b> <i>protein data bank</i>	<b>V<sub>M</sub></b> potentiel de membrane
<b>PDI</b> <i>protein disulfide isomérase</i>	<b>V<sub>rep</sub></b> potentiel de repos
<b>PFK</b> phosphofructokinase	<b>Xyl</b> xylose
<b>pHi</b> pH isoélectrique	

# Remerciements

La parution de cet ouvrage « Biologie BCPST », fruit de la collaboration d'une équipe de professeurs, est pour nous l'occasion de remercier tous ceux qui nous ont aidés à mener à bien ce projet, par leurs conseils et leurs critiques constructives.

Les versions initiales de certains chapitres ont été relues par des collègues universitaires, Valérie FENELON, professeur à l'Université de Bordeaux I, Stéphane MAURY, professeur à l'Université d'Orléans, Eric QUEINNEC, professeur à l'Université Pierre et Marie Curie et Jean-Claude BAEHR, professeur à l'Université de Poitiers, et par François CARIOU, professeur en BCPST au lycée Blaise Pascal de Clermont Ferrand. Nous les remercions.

Merci à Nacer BENMERADI, directeur technique de la plateforme d'imagerie cellulaire, faculté de médecine Rangueil à Toulouse, Philippe COCHARD, responsable de la plateforme d'imagerie cellulaire, Université Paul Sabatier à Toulouse, Pierre Emmanuel GLEIZES, responsable du plateau de Microscopie Electronique Intégrative du laboratoire de Biologie Moléculaire Eucaryote de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, Lionel MOUREY, directeur de recherche CNRS à l'Institut de Pharmacologie et de Biologie Structurale, CNRS, de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, pour les documents iconographiques qu'ils ont aimablement mis à notre disposition.

Merci à Dominique LARROUY, professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse, pour les réponses à nos questions et les indications bibliographiques qu'il nous a fournies.

Daniel POISSON, professeur en BCPST au lycée Masséna à Nice, et Jérôme Davion, technicien au laboratoire de SVT du lycée Janson de Sailly à Paris, ont puisé dans leur photothèque pour nous fournir divers clichés. Nous les remercions.

Merci également à nos collègues les Dr Michel Delarue et Christian Aimar du service Biomédia-UPMC, Faculté de Biologie, qui ont puisé dans leurs photothèques pour nous fournir divers clichés.

Nos remerciements s'adressent aussi à l'équipe éditoriale, Emmanuelle Chatelet et Eric d'Engenières qui ont à nouveau largement collaboré à la réalisation de cet ouvrage.

Les questions, les difficultés et les idées de nos étudiants ont nourri notre réflexion. Nous souhaitons que cet ouvrage constitue un outil efficace pour leur formation.

Enfin, nous n'oublions pas nos proches, qui cette fois encore, ont accepté patiemment l'intrusion de notre activité professionnelle dans la vie familiale.



**Des molécules  
du vivant à la cellule :  
organisation  
fonctionnelle**

# L'eau, les petites molécules organiques

CHAPITRE

1

## Plan

- 1.1 La composition du vivant : atomes et molécules
- 1.2 L'eau
- 1.3 Les glucides
- 1.4 Les lipides
- 1.5 Les acides aminés
- 1.6 Les nucléotides
- 1.7 Les conversions

## Introduction

Tous les êtres vivants sont constitués de substances minérales (eau et sels minéraux) et de composés organiques. Ces derniers, ainsi nommés car ils sont élaborés par les êtres vivants, appartiennent à quatre grandes familles - glucides, lipides, protides, acides nucléiques – et sont impliqués dans les activités cellulaires.

- Quelles sont les principales caractéristiques fondamentales de ces molécules ?
- Quels sont les liens entre leurs propriétés physico-chimiques et leurs fonctions biologiques ?

Nous répondrons à ces questions en présentant les principaux atomes constitutifs du vivant. Nous montrerons ensuite que ces éléments, liés chimiquement, forment des biomolécules. Nous présenterons ensuite les propriétés de l'eau, composant majeure des cellules, aux fonctions multiples. Suivra l'étude des quatre types principaux de petites molécules, glucides simples, lipides, acides aminés et nucléotides. Les voies de conversion entre ces familles biochimiques clôtureront ce chapitre.

## Ce que vous avez vu au lycée

- Les êtres vivants sont constitués d'éléments chimiques disponibles sur le globe terrestre. Les proportions de ces éléments sont différentes dans le monde inerte et dans le monde vivant.
- Ces éléments chimiques se répartissent dans diverses molécules formant la matière organique carbonée (matière produite par les êtres vivants) et la matière minérale constitutives du vivant.
- Parmi les molécules minérales constitutives du vivant, l'eau est la molécule la plus abondante ; les principales formes de matière organique sont les lipides, les glucides, les protides, les nucléotides et les acides nucléiques (ADN et ARN).
- L'unité chimique des êtres vivants peut être considérée comme un indice de leur parenté.

## Connaissances clés

Les atomes de carbone des molécules biologiques portent des fonctions variées qui déterminent leurs propriétés physico-chimiques (dimension, solubilité, polarité, ionisation).

Le rôle biologique des molécules organiques dépend de leurs propriétés physico-chimiques et de leur réactivité. Des réactions d'oxydoréduction modifient et diversifient les fonctions chimiques des petites molécules biologiques. Une même molécule biologique peut appartenir à plusieurs familles.

L'analyse qualitative et quantitative des diverses molécules du vivant ([tableau 1.1](#)) montre la présence de deux types de constituants, minéraux et organiques. Les premiers sont les plus abondants car l'eau, constituant majeur des cellules, représente en moyenne 60 % de la masse totale

des animaux, 75 % de celle des végétaux. Ces valeurs varient de 10 % (majorité des graines) à 98 % (méduse). Les sels minéraux sont peu abondants mais participent à des fonctions essentielles comme nous le verrons plus loin.

**TABEAU 1.1** CONSTITUANTS D'UNE CELLULE EUARYOTE ET D'UNE CELLULE PROCARYOTE.

Constituants		Cellule eucaryote (ex : hépatocyte de rat)	Cellule procaryote (ex : <i>Escherichia coli</i> )
Constituants minéraux	Eau	74	70
	Sels minéraux	1	1
Constituants organiques	Glucides	1,5	3
	Lipides	2,5	2
	Protides	16	17
	Acides nucléiques	5	7

Valeurs exprimées en % de la masse totale. Les parts de l'eau et des glucides sont plus élevées dans les cellules végétales.

## 1.1 LA COMPOSITION DU VIVANT : ATOMES ET MOLÉCULES

Selon leur abondance, les atomes constitutifs des êtres vivants sont classés en trois groupes :

- les éléments majeurs ou **macroéléments** : les quatre atomes H, C, O, N représentent plus de 95 % de la masse des organismes. Ce sont les atomes fondamentaux des molécules organiques essentielles, glucides, lipides, protides et acides nucléiques. L'eau, présente en grande quantité, explique l'abondance de l'oxygène.
- Les **oligoéléments** : peu abondants (0,03 à 1,3 %) comme S, P, Ca, Mg..., ils participent à la constitution de molécules complexes (ex. :  $Mg^{2+}$  de la molécule de chlorophylle ou assurent seuls une fonction :  $Na^+$ ,  $K^+$  et potentiel d'action).
- Les microéléments : à l'état de traces, ils sont indispensables à la constitution et au fonctionnement de diverses molécules (fer et molécules de cytochromes, de myoglobine et d'hémoglobine...).

Le monde vivant est organisé autour du carbone : en se liant à lui-même par covalence, il forme des motifs variés (chaînes linéaires ou ramifiées, cycles) et établit des liaisons robustes avec d'autres atomes comme O, N ou H au sein de molécules organiques très diverses.

### 1.1.1 Les caractéristiques des principaux atomes (H, C, N, O, S et P)

#### a) Organisation schématique d'un atome

Électriquement neutre, un atome est constitué d'un noyau central autour duquel sont répartis des électrons. Le noyau représente à lui seul la quasi-totalité de la masse de l'atome ; il contient Z protons, chargés positivement, et N neutrons électriquement neutres. L'atome d'un élément X est caractérisé par 2 nombres, Z (nombre de charge ou **numéro atomique**) et A (**nombre de masse**) avec  $A = Z + N$  ;  ${}^A_ZX$  représente le noyau de cet atome. Exemples :  ${}^{12}_6C$ ,  ${}^{16}_8O$ .

Les réactions chimiques entre atomes impliquent les électrons périphériques. Leur nombre conditionne les propriétés chimiques de l'élément considéré. Il intervient dans l'établissement de liaisons chimiques et détermine la valence de l'élément c'est-à-dire le nombre de liaisons covalentes possibles (tableau 1.2).

Voir chapitre 8,  
figure 8.14

L'aptitude d'un atome à attirer les électrons lors d'une mise en liaison avec un atome de nature différente est une grandeur sans unité, l'électronégativité. Les éléments les plus fortement attracteurs et accepteurs d'électrons sont les plus électronégatifs (ex. : O et N), les éléments les plus fortement donneurs d'électrons sont donc les moins électronégatifs (ex. : H et P).

Le [tableau 1.2](#) résume les caractéristiques des principaux atomes de la matière vivante, rangés de haut en bas par ordre croissant de leur numéro atomique Z.

**TABEAU 1.2** CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX ATOMES DE LA MATIÈRE VIVANTE.

	Numéro atomique Z	Nombre d'électrons de valence	Masse atomique A (Da et g.mol <sup>-1</sup> )	Rayon de covalence (pm)	Rayon de Van der Waals (pm)	Electro-négativité
H	1	1	1	38	120	2,2
C	6	4	12	77	170	2,5
N	7	3	14	75	155	3,0
O	8	2	16	73	152	3,4
P	15	3 ou 5	31	106	180	2,2
S	16	2 ou 4 ou 6	32	102	180	2,6

1 pm = 1 picomètre = 10<sup>-12</sup> m ; Da (le dalton) = masse d'un atome d'hydrogène.

### Capacités exigibles

- ➔ Décrire les fonctions alkyl, alcool, aldéhyde, cétone, acide, amine.
- ➔ Identifier et analyser les réactions d'oxydoréduction du vivant en termes de transfert d'électrons.
- ➔ Mettre en relation les caractéristiques d'une molécule (nature, taille...), ses propriétés (hydrophilie, solubilité, ionisation), sa réactivité (acides, bases, esters et thio-esters, phosphorylations, équilibre céto-énolique) et in fine sa stabilité, ses fonctions.

## 1.1.2 Les liaisons covalentes entre atomes ; groupes fonctionnels

Les atomes forment des molécules par liaisons chimiques. Dans la chimie du vivant, le carbone joue un rôle central : il peut établir des liaisons covalentes grâce à la présence de quatre électrons périphériques. Il existe aussi des liaisons non covalentes qui conditionnent le comportement des groupes fonctionnels (§ 1.1.3).

### a) Une mise en commun d'électrons

Une liaison covalente unit deux atomes par la mise en commun d'une paire ou doublet d'électrons. Le [tableau 1.5](#) donne l'ordre de grandeur de la taille des liaisons covalentes simples et de l'énergie de ces liaisons. Cette énergie est très élevée (quelques centaines de kJ.mol<sup>-1</sup>). C'est une **liaison de forte énergie** donc stable en général dans les conditions cellulaires. L'énergie de liaison diminue quand la taille des atomes liés augmente : plus les atomes sont petits, plus les liaisons covalentes qui les unissent sont fortes. C'est le cas des atomes C, H, O et N qui participent à la construction des molécules du vivant.

La mise en commun d'un seul doublet donne naissance à une liaison simple symbolisée par un trait : liaison de type  $\sigma$  (sigma). Mais deux atomes liants peuvent apporter chacun deux électrons : il en résulte une double liaison symbolisée par un double trait. La deuxième paire d'électrons forme la liaison  $\pi$  (pi). Les doubles liaisons sont plus courtes (135 pm) et plus solides ( $\approx 600$  kJ.mol<sup>-1</sup>) que les liaisons simples.

Toutefois les électrons  $\pi$ , plus instables, sont facilement délocalisables. Cette propriété confère le caractère rigide et polaire aux liaisons peptidiques (§ 1.5.3). Par ailleurs ces électrons  $\pi$  sont excitables par la lumière (absorption de photons du visible), processus à l'origine de la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique.

Voir chapitre 8,  
§ 8.3.1

Voir chapitre 8,  
§ 8.1.4b

## b) Mésonérie et résonance

Lorsqu'une simple liaison est encadrée par deux doubles liaisons, les électrons  $\pi$  sont délocalisés sur l'ensemble des atomes de telle sorte que la molécule possède plusieurs structures. Ce phénomène est appelé **mésomérie**. La molécule est considérée comme un **hybride de résonance** entre des structures limites. Il en résulte un surplus d'énergie (structure plus stable) appelé énergie de résonance. Ce phénomène concerne les pigments photosynthétiques lors de la photoconversion, les liaisons phosphoanhydrides lors de l'hydrolyse de l'ATP. La liaison peptidique unissant deux acides aminés (§ 1.6.2 et figure 1.1) est un hybride de résonance suite au partage des électrons  $\pi$  de la double liaison C=O entre les 3 atomes O, C et N.

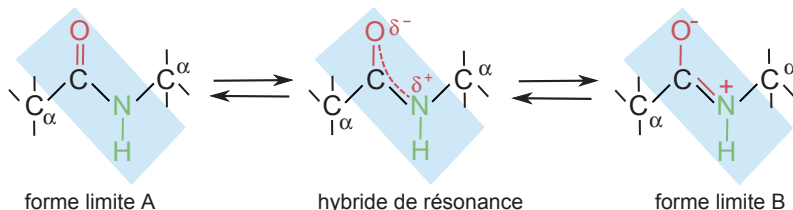


FIGURE 1.1 La liaison peptidique, un hybride de résonance.

## c) Certaines liaisons covalentes sont polaires

Lorsque des atomes différents sont unis par covalence, chacun exerce sur le doublet une attraction spécifique fonction de son électronégativité ; le plus électronégatif attire davantage le doublet d'électrons (tableau 1.2). Ainsi, dans la liaison O–H, le noyau de l'atome d'oxygène attire le doublet vers lui. Cette attraction confère un caractère ionique partiel à la liaison et on attribue à chaque atome une charge partielle notée  $\delta^+$  et  $\delta^-$  (figure 1.2). Les principales liaisons covalentes polaires en biologie sont : O–H, N–H, C=O, P=O. De tels dipôles électriques attirent d'autres dipôles comme ceux que forme la molécule d'eau (voir les liaisons H, § 1.1.3b).

## d) Les chaînes hydrocarbonées

Les molécules à base de carbone et d'hydrogène sont des chaînes hydrocarbonées. Celles-ci sont soit linéaires (chaînes aliphatiques), soit ramifiées ou encore cycliques. Dans une chaîne hydrocarbonée linéaire, les angles de liaison des C successifs sont de  $109^\circ$  pour les simples liaisons et de  $120^\circ$  pour les doubles liaisons. Ceci concerne en particulier les acides gras membranaires dont les doubles liaisons induisent des coudes, affectant grandement la fluidité de la bicouche lipidique (figure 1.15).

Ces chaînes, en général peu réactives, constituent un radical alkyle, noté **R**, de la molécule par distinction avec les sites où d'autres atomes remplacent l'hydrogène et rendent l'ensemble plus réactif. Les substituants les plus fréquents de l'hydrogène, O, N et S, déterminent des groupes fonctionnels dont les propriétés chimiques définissent les fonctions alcool, aldéhyde, cétone, acide et amine (figure 1.2)

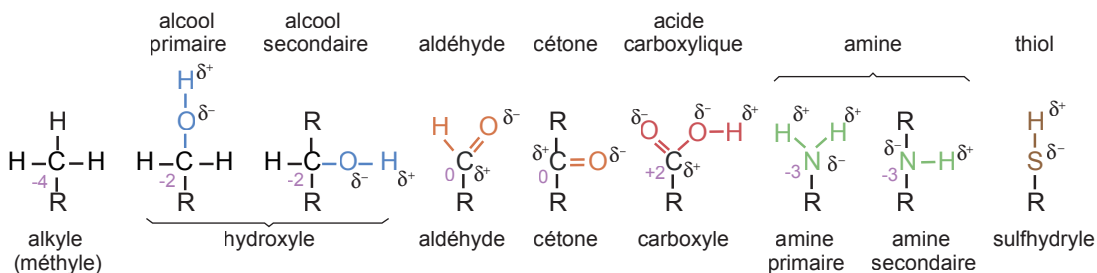


FIGURE 1.2 Les groupes fonctionnels (ligne du bas) et les fonctions associées (ligne du haut).

Le nombre d'oxydation du carbone (§ 1.1.2f) est indiqué en violet ;  $\delta^+$  et  $\delta^-$  sont les charges partielles des liaisons covalentes polaires.

## e) Les principaux groupes fonctionnels des molécules et leurs fonctions associées

### Les radicaux alkyl

Ce sont des structures binaires, constituées de carbone et hydrogène (formule générale  $C_n H_{2n+1}$ ) comme le groupe fonctionnel méthyle ( $-CH_3$ ), très fréquent dans les biomolécules.

Du fait de leurs liaisons covalentes C–H non polaires, les chaînes hydrocarbonées sont insolubles dans l'eau : elles sont **hydrophobes**. Cette propriété et ses conséquences biologiques sont expliquées plus loin (§ 1.2.2). A titre d'exemple, la méthylation des protéines histones eucaryotiques entraîne la condensation de la chromatine, rendant l'expression génétique impossible.

### La fonction alcool

Caractérisée par le groupe fonctionnel hydroxyle  $-OH$ , sa formule générale est  $C_n H_{2n+1} -OH$ . Citons l'éthanol [ $C_2 H_5 -OH$ ], produit de la fermentation alcoolique anaérobie des levures. Le groupe fonctionnel  $-OH$  confère aux molécules un caractère polaire, les rendant **hydrophiles** (§ 1.2.2). Les glucides simples comme le glucose sont des polyalcools (§ 1.3) très solubles dans l'eau. La fonction alcool est oxydable ; par oxydation, elle forme le groupe carbonyle présent dans les fonctions aldéhyde ( $-CHO$ ) ou cétone ( $-C=O$ ), voire le groupe fonctionnel carboxyle ( $-COOH$ ) : cas des oses oxydés en acides uroniques (§ 1.3.2d). Elle réagit avec les acides par une réaction d'**estérification** (tableau 1.14) comme dans le cas du glucose et de l'acide phosphorique lors des premières étapes de la glycolyse. Les fonctions alcool réagissent entre elles par **éthérification**, formant des éther-oxydes (figure 1.4). La polymérisation du glucose en amidon ou en cellulose par liaisons O-glycosidiques en est un exemple.

### La fonction aldéhyde

Un aldéhyde, appelé aussi alcool déshydrogéné, est de formule générale  $R - CHO$ . Ainsi  $H - CHO$  est le méthanal ou formaldéhyde dont la solution aqueuse constitue le formol. La fonction aldéhyde, très polaire au niveau de  $-C=O$ , confère aux molécules organiques un caractère hydrophile. Elle s'oxyde facilement en acide en présence d'un réactif comme la liqueur de Fehling dont l'ion  $Cu^{2+}$  est réduit en  $Cu^+$  et précipite sous forme de  $Cu_2O$  de couleur rouge brique. Cette réaction caractérise la présence des sucres réducteurs en solution. La fonction aldéhyde est **réductible** : c'est le cas du glycéraldéhyde  $CH_2OH - CHOH - CHO$  réduit en glycérol  $CH_2OH - CHOH - CH_2OH$ , constituant de nombreux lipides. Elle peut enfin réagir avec une fonction alcool en hémiacétal lors de la cyclisation des oses (§ 1.3.2c).

Le tableau 1.3 présente les règles de nomenclature à partir de l'exemple du méthane.

TABLEAU 1.3 EXEMPLES DE NOMENCLATURE SELON LE GROUPE FONCTIONNEL.

Groupe fonctionnel	Exemple d'alcane	Suffixe	Exemple
Alkyle	Méthane ( $CH_4$ )	- yle	Méthyle : $CH_3$
Alcool		- ol	Méthanol : $CH_3 - OH$
Aldéhyde	Méthane ( $CH_4$ )	- al	Méthanal : $H - CHO$
Carboxylique		- oïque	Acide méthanoïque : $H - COOH$

### La fonction cétone

Une cétone est caractérisée par un groupe fonctionnel carbonyle  $=C=O$  dont le carbone est lié à deux groupements carbonés notés R et R' (figure 1.2). Elle est désignée par le nom du carbure correspondant en remplaçant le -e terminal par la terminaison -one.

Le groupe fonctionnel  $=C=O$ , très polaire et donc hydrophile, participe à la solubilisation des molécules. Comme la fonction aldéhyde, la fonction cétone peut être réduite en fonction alcool.

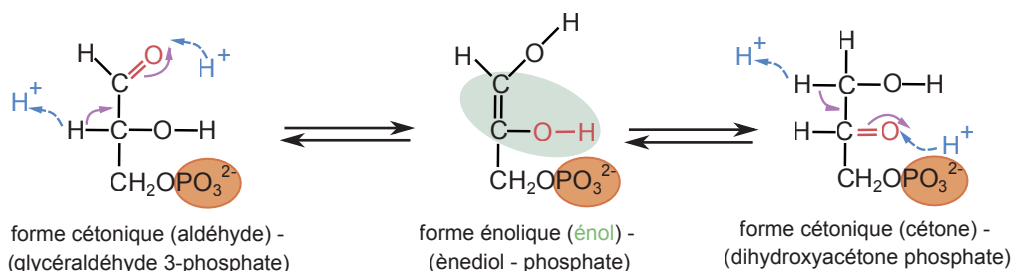
Les fonctions aldéhyde et cétone existent sous deux formes tautomères, en équilibre : la forme cétonique (terme utilisé tant pour l'aldéhyde que pour la cétone) et la forme énolique. L'équi-

Voir chapitre 9,  
§ 9.2.1a

Voir chapitre 2,  
§ 2.1.2

Voir chapitre 6,  
§ 6.2.1.d et  
chapitre 9, § 9.2.1a

libre chimique entre les deux formes fait intervenir le transfert d'un proton. La forme énolique est instable. Citons en exemple (figure 1.3) la conversion du glycéraldéhyde 3-phosphate en dihydroxyacétone phosphate qui a lieu lors de la glycolyse.



**FIGURE 1.3** L'équilibre cétone-énolique ; exemple de l'isomérisation du glycéraldéhyde 3-phosphate en dihydroxyacétone phosphate.

Les flèches bleues et les flèches violettes indiquent respectivement le transfert de protons et le déplacement intramoléculaire des électrons.

### La fonction acide carboxylique

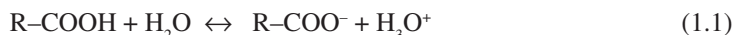
De formule générale R-COOH, un acide présente un groupe fonctionnel acide carboxylique (figure 1.2). Il est désigné par le nom du carbure correspondant en remplaçant le -e terminal par -oïque mais la nomenclature usuelle remplace la nomenclature officielle (tableau 1.4).

**TABLEAU 1.4** QUELQUES ACIDES ORGANIQUES FRÉQUENTS EN BIOLOGIE.

n	Formule semi-développée	Nom usuel	Remarques
1	H - COOH	Acide formique	Acide gras volatil (AGV) produit par les fourmis
2	CH <sub>3</sub> - COOH	Acide acétique	AGV du vinaigre
3	CH <sub>3</sub> - CO - COOH CH <sub>3</sub> - CHOH - COOH	Acide pyruvique Acide lactique	Produit de la glycolyse Produit de la fermentation lactique
4	COOH - (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> - COOH COOH - CH <sub>2</sub> - CHOH - COOH	Acide succinique Acide malique	Métabolite du cycle de Krebs Métabolite du cycle de Krebs et de la photosynthèse en C4
16	CH <sub>3</sub> - (CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> - COOH	Acide palmitique	Acide Gras Saturé (AGS) extrait de l'huile de palme
18	CH <sub>3</sub> - (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> - CH = CH - (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> - COOH	Acide oléique	Acide Gras Insaturé (AGI) extrait de l'huile d'olive

n : nombre d'atomes de carbone.

Un acide est une espèce chimique **ionisable**, apte à libérer des ions H<sup>+</sup> (protons). Les acides carboxyliques sont généralement des acides faibles. En solution aqueuse, ils ne sont pas totalement dissociés et il s'établit un équilibre sous la forme :



Cet équilibre est caractérisé par la constante d'équilibre  $K_a = \frac{[\text{R-COO}^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{R-COOH}]}$ . Plus  $K_a$  est grand, plus l'acide est fort. La valeur de  $K_a$  variant de plusieurs puissances de 10, on utilise le cologarithme ( $-\log K_a$ ) appelé **pKa**. **Plus le pKa est élevé, plus l'acide est faible**. Le déplacement de l'équilibre est essentiel dans la catalyse de type acide-base. Fortement polaire sous forme neutre et ionisée, la fonction carboxyle est très hydrophile et peu réactive. La fonction carboxyle estérifie les fonctions alcool et thiol ; citons la liaison thio-ester du coenzyme A.

Voir chapitre 6,  
§ 6.2.1d et TP3, § 3.2

Voir chapitre 9,  
§ 9.2.2a et § 9.2.2b

### La fonction amine

Les amines dérivent de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) ; elles sont facilement **ionisables** selon la réaction :



Ce sont des bases faibles ( $\text{pK}_a \# 10$ ) dont l'étude est abordée avec les acides aminés (§ 1.5). Cette fonction est fortement polaire donc hydrophile car l'atome N est plus électronégatif que H. La réaction d'une fonction amine et d'une fonction carboxyle forme une **liaison amide**, principe de la polymérisation des acides aminés en peptides (§ 1.5.3) et protéines.

**Remarque** : lorsque les groupes fonctionnels simples réagissent entre eux, ils forment des groupes fonctionnels complexes : groupes éther, ester et thio-ester, amide ou anhydride d'acide (figure 1.4 et figure 8.4). Les principales réactions sont présentées au § 1.7, tableau 1.14.

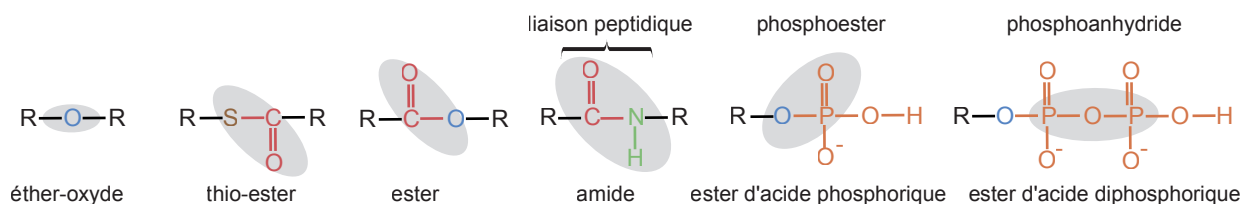


FIGURE 1.4 Les principaux groupes fonctionnels complexes.

### f) Les degrés d'oxydation du carbone

Les atomes d'azote et d'oxygène sont très électronégatifs (tableau 1.2). Ainsi, l'atome d'oxygène d'une liaison C-O attire plus les électrons que le carbone. Un atome accepteur d'électrons est dit réduit alors qu'un atome donneur d'électrons est dit oxydé. Une **oxydation** est une perte d'électron(s), une **réduction** est un gain d'électron(s). Une déshydrogénation, réaction fréquente en biologie, consiste en une perte d'hydrogène donc d'électron ( $\text{H} = \text{H}^+ + \text{e}^-$ ) ; c'est un exemple d'oxydation. Une hydrogénation est une réduction. On quantifie l'oxydation ou la réduction d'un élément par le calcul du nombre d'oxydation.

#### Définition du degré ou nombre d'oxydation n.o.

C'est une valeur algébrique attribuée à un élément : plus elle est élevée, plus l'élément est oxydé (moins il est réduit). Quelques règles simples permettent son calcul.

- La somme des nombres d'oxydation de chaque élément  $\Sigma(\text{n.o.})$  dans une molécule neutre est nulle ; pour un ion, elle est égale à la charge de celui-ci.
- Ex. :  $\Sigma(\text{n.o.})$  eau = 0,  $\Sigma(\text{n.o.})$  glucose = 0,  $\Sigma(\text{n.o.})$  nitrate  $\text{NO}_3^- = -1$  ; n.o.  $\text{H}^+ = +1$ .
- Dans un composé, la valeur attribuée à l'élément O est de  $-2$ , celle attribuée à H est de  $+1$ . Exceptions : n.o. O dans l'eau oxygénée  $\text{H}_2\text{O}_2$  est égal à  $-1$  et, dans un corps pur simple, n.o. de l'élément est égal à 0 (n.o. O dans  $\text{O}_2$ , n.o. H dans  $\text{H}_2$ ). Le n.o. d'un groupement alkyl R est par convention égal à  $+1$ .

#### Exemples de calcul

Soit  $x = \text{n.o. de C}$  dans le glucose ; on peut écrire  $\Sigma(\text{n.o.}) \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = 0 = 6x + 12 \times (+1) + 6 \times (-2)$  ; ainsi n.o. C = 0. De même il vient pour n.o. de C dans le dioxyde de carbone :  $\Sigma(\text{n.o.}) \text{CO}_2 = 0 = x + 2 \times (-2)$  ;  $x = +4$ . On constate alors que l'élément carbone est plus oxydé dans le dioxyde de carbone que dans le glucose ; pour passer du carbone minéral ( $\text{CO}_2$ ) au carbone organique (glucose), il faut fournir à chaque carbone  $4 \text{ e}^-$ , donc le réduire.

On peut faire le même calcul pour le carbone des différents groupes fonctionnels étudiés (figure 1.2). Soit  $x$  le n.o. de C :

- C de la fonction méthyle  $\text{R-CH}_3$  :  $0 = +1 + x + 3 \times (+1)$  d'où n.o. C =  $-4$  ;



- C d'une fonction alcool  $R-CH_2OH$  :  $0 = +1 + x + 2 \times (+1) + (-2) + 1$  soit n.o.  $C = -2$  ;
- C de la fonction aldéhyde  $R-CHO$  :  $0 = +1 + x + 1 + (-2)$  d'où n.o.  $C = 0$  ;
- C de la fonction cétone  $R-CO-R'$  :  $0 = +1 + x + (-2) + 1$  d'où n.o.  $C = 0$  ;
- C de la fonction carboxyle  $R-COOH$  :  $0 = +1 + x + 2 \times (-2) + 1$  d'où n.o.  $C = +2$ .

Le carbone est ainsi de plus en plus réduit lorsque l'on passe d'une fonction acide à une fonction aldéhyde ou cétone puis à une fonction alcool et enfin à un radical méthyle.

Le calcul de cette valeur permet :

- de comparer le degré d'oxydation d'un même élément dans deux composés différents ;
- de connaître le nombre d'électrons que nécessite l'oxydation ou la réduction d'un élément.

Le même calcul peut être réalisé pour l'azote. Soit y le n.o. de N :

- pour l'ion nitrate  $NO_3^-$  :  $-1 = y + 3 \times (-2)$  d'où n.o. de N = +5 ;
- pour le composé  $R-NH_2$  :  $0 = +1 + y + 2 \times (+1)$  d'où n.o. de N = -3.

L'azote organique de la fonction amine est donc moins oxydé que celui de l'ion nitrate. La réduction de l'azote nitrique en azote de la fonction amine nécessite 8 électrons ; n.o. passe de +5 à -3. Inversement l'oxydation complète de l'azote aminé en azote nitrique libère 8 e<sup>-</sup>.

Voir chapitre 8, § 8.2

## EXERCICE

### D'un groupe fonctionnel à l'autre : exemple de l'oxydation acétique

En présence d'air, le micro-organisme spécifique *Mycoderma aceti*, transforme l'éthanol ( $CH_3CH_2OH$ ) en acide éthanoïque ou acétique ( $CH_3COOH$ ). Cette réaction est mise à profit dans la fabrication industrielle du vinaigre, solution diluée d'acide éthanoïque (5 à 8 %). La filiation entre ces trois molécules est la suivante : éthanol → éthanal → acide éthanoïque. Pour chaque oxydation, du dioxygène est nécessaire.

1. Ecrivez les équations de chaque oxydation.
2. Donnez l'équation globale de la transformation de l'éthanol en acide éthanoïque.
3. Déterminez le nombre d'oxydation du carbone réactionnel pour chacune de ces trois biomolécules.

#### Corrigé :

1.  $CH_3CH_2OH + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_3CHO + H_2O$  ;  $CH_3CHO + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CH_3COOH$ .
2.  $CH_3CH_2OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$ .
3. n.o.  $C_{(R-CH_2OH)} = -2$  ; n.o.  $C_{(R-CHO)} = 0$  ; n.o.  $C_{(R-COOH)} = +2$ . La réaction globale mobilise 4 électrons.

Les biomolécules, faites d'atomes unis par des liaisons covalentes stables, possèdent des groupements fonctionnels. Les molécules du vivant développent aussi entre elles et en leur sein des interactions non covalentes, labiles, dites faibles.

### 1.1.3 Les liaisons non covalentes ou liaisons faibles

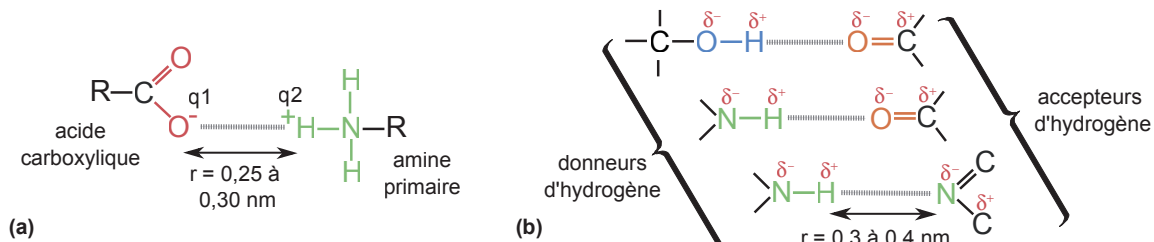
Elles unissent des atomes au sein d'une même molécule ou entre molécules. Les nuages électroniques restent séparés : l'interaction à distance entre les charges électriques, totales ou partielles, des atomes est de type électrostatique. La distance entre noyaux est plus grande que dans la liaison covalente ; l'énergie de liaison est 20 à 100 fois plus faible. Ces liaisons de faible énergie (tableau 1.5) se répartissent en trois catégories.

#### a) Liaisons ioniques

Elles s'établissent entre groupes ionisés au pH cellulaire (figure 1.5a).

La force établie entre deux charges  $q_1$  et  $q_2$  de signes opposés, distantes d'une longueur  $r$ , dans un milieu de constante diélectrique  $D$ , obéit à la loi de Coulomb :

$$F = \frac{1}{4\pi D} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (1.3)$$



**FIGURE 1.5** Liaisons électrostatiques : (a) liaisons ioniques entre charges totales ; (b) liaisons hydrogène entre charges partielles.

$D = 80$  dans l'eau,  $D = 2$  dans un environnement hydrophobe (ex. : cœur d'une protéine, bicouche lipidique) et  $D = 1$  dans le vide ou dans l'air. En présence d'eau, la force de liaison entre les atomes est considérablement affaiblie. Dans le cœur hydrophobe des protéines et dans les sites actifs des enzymes, la force de ces liaisons est stabilisatrice.

Voir chapitre 6,  
§ 6.2.1e

### b) Interactions entre dipôles : liaisons H et liaisons de Van der Waals

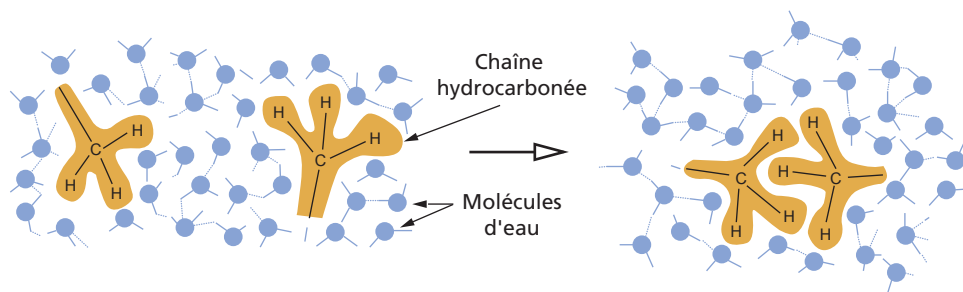
Des composés non ionisés peuvent porter des charges électriques partielles si une liaison covalente est établie entre deux atomes d'électronégativités très différentes. L'atome le plus électronégatif attirant à lui le doublet de la liaison provoque une dissymétrie dans la répartition électronique. Ainsi, dans la liaison O-H, l'oxygène porte une charge  $\delta^-$  tandis que l'hydrogène porte une charge  $\delta^+$ . Cet hydrogène peut alors contracter une liaison appelée **liaison hydrogène** (notée souvent liaison H) avec un atome possédant un doublet libre et très électronégatif comme l'azote ou l'oxygène (figure 1.5b). La liaison H, stable à température ambiante, est fragile ( $10$  à  $20 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) comparée à la liaison covalente. On comprend ainsi son importance dans les réactions biochimiques où les énergies mises en jeu sont faibles. L'existence d'un grand nombre de liaisons H entre macromolécules confère à ces édifices une stabilité notable (double hélice d'ADN, fibrille de cellulose...). L'appariement entre bases azotées dans les duplex ADN-ADN, ADN-ARNm et ARNr-ARNt repose entièrement sur la mise en place de liens H.

Voir chapitres 17,  
18 et 19

De plus, le rapprochement des atomes induit des fluctuations dans la répartition de leurs nuages électroniques. Ceci engendre des charges partielles transitoires à l'origine d'attractions faibles dites de **Van der Waals**. Ces attractions s'opèrent jusqu'à une distance limite : le rayon de Van der Waals. Au-dessous de cette distance, les atomes se repoussent fortement. Cette interaction est très faible (énergie #  $1$  à  $5 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ , tableau 1.5).

### c) Interactions hydrophobes

Elles concernent les groupes apolaires qui ne peuvent pas contracter de liaisons H avec l'eau. La répulsion de l'eau par ces groupes favorise leur attraction mutuelle (figure 1.6). Ce point est développé dans le paragraphe 1.2.2.



**FIGURE 1.6** L'effet hydrophobe contraint les chaînes hydrocarbonées à se regrouper.

(a) état instable : l'encombrement des radicaux méthyle entraîne la rupture d'un grand nombre de liaisons H entre les molécules d'eau ; (b) état plus stable : le nombre de liaisons H rompues entre les molécules d'eau est minimisé.

Voir chapitre 2, § 2.4

Voir chapitre 3,  
§ 3.1.3b

Voir chapitre 6

Voir chapitre 2,  
§ 2.3.1 et § 2.3.2

Lorsque des molécules hydrophobes sont mises en milieu aqueux, elles tendent à se regrouper. Les forces qui les maintiennent groupées sont appelées **interactions hydrophobes**. Ce regroupement n'est pas initié par une attraction entre molécules apolaires ; il résulte de forces exercées par les molécules d'eau qui établissent entre elles un maximum de liaisons H dans le réseau liquide. Il en résulte une exclusion des molécules apolaires qui se rapprochent, favorisant le développement de forces de Van der Waals. Les interactions hydrophobes sont un acteur essentiel de la structure des protéines et de la disposition des lipides membranaires.

Contrairement aux liaisons covalentes, les liaisons faibles génèrent des interactions réversibles entre molécules. Elles sont donc impliquées dans des associations transitoires comme la reconnaissance stéréospécifique d'une enzyme et de son substrat. Elles sont également engagées dans la conformation spatiale des protéines et dans ses changements de forme (phénomènes d'allostérie et de coopérativité). La rupture de ces liaisons faibles explique la perte de fonction par dénaturation des protéines.

Le **tableau 1.5** fournit une comparaison des caractéristiques de ces différentes liaisons.

**TABLEAU 1.5** CARACTÉRISTIQUES DES LIAISONS CHIMIQUES.

Type d'interaction	Distance en nm	Energie de liaison à 20°C en kJ.mol <sup>-1</sup>
Liaisons covalentes	0,03 à 0,10	300 à 450
Liaisons ioniques	0,25 à 0,30	40 à 100
Liaisons hydrogène	0,30 à 0,40	10 à 20
Liaisons de Van der Waals	0,30 à 0,40	1 à 5
Interactions hydrophobes	0,30 à 0,40	10

### 1.1.4 Conclusion : 2 catégories de constituants selon la masse.

L'eau et les constituants minéraux sont de petites molécules. Les composés organiques comportent des molécules de faible masse (< 5 kDa) et des macromolécules (masse > 5 kDa) (**tableau 1.6**). Le Dalton (ou Da) est la masse d'un atome d'hydrogène (1g/N) ; la masse d'une molécule d'eau est ainsi de 18 Da.

**TABLEAU 1.6** LES CONSTITUANTS DE LA MATIÈRE VIVANTE SELON LEUR MASSE.

Nature chimique	Nom usuel	Exemples	Masse moléculaire (Da)	
Minérale	Eau	H <sub>2</sub> O	18	
	Sels minéraux	Na	23	
		K	39	
		Cl	35	
		Ca	40	
Organique : petites biomolécules < 5 kDa	Glucides	oses	Glucose	180
		diosides	Saccharose	342
	Lipides	Trioléine	884	
	Acides aminés	Gly, Lys	75 et 204	
	Nucléotides	ATP	507	
Organique : macromolécules > 5 kDa	Polyosides	Amidon	10 <sup>3</sup> à 10 <sup>6</sup>	
	Protides	Hexokinase		
	Acides nucléiques	ADN, ARN		
	Polyphénols	Lignine		

Les biomolécules simples sont les oses, les lipides, les acides aminés et les nucléotides. Les trois types principaux de biopolymères sont les polysaccharides ou polyosides, les protéines et les acides nucléiques.

## 1.2 L'EAU

### 1.2.1 L'eau, une molécule polaire

Dans la molécule  $\text{H}_2\text{O}$ , chaque atome d'hydrogène est lié à l'atome d'oxygène par une liaison covalente relativement solide ( $462 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ). L'atome d'hydrogène met son unique électron en commun avec un des deux électrons célibataires de la couche externe de l'atome d'oxygène. Les trois atomes engagés complètent ainsi leurs couches externes (2 électrons pour chaque H et 8 électrons pour O), ce qui confère une grande stabilité à la molécule  $\text{H}_2\text{O}$ . Les quatre électrons restants de l'oxygène se regroupent par paires nommées doublets non liants (figure 1.7a).

La molécule d'eau a la forme d'un tétraèdre dont l'atome d'oxygène occupe le centre. Si cette molécule est électriquement neutre, les deux liaisons covalentes O–H sont néanmoins polarisées en raison des différences d'électronégativité entre H et O. L'atome d'oxygène, nettement plus électro-négatif que l'atome d'hydrogène, attire davantage chaque doublet d'électrons des deux liaisons de covalence. Statistiquement, les électrons se situent plus souvent du côté de O que de H si bien que les liaisons covalentes sont polaires. Il en résulte des charges partielles notées  $\delta^+$  et  $\delta^-$  (figure 1.7b).

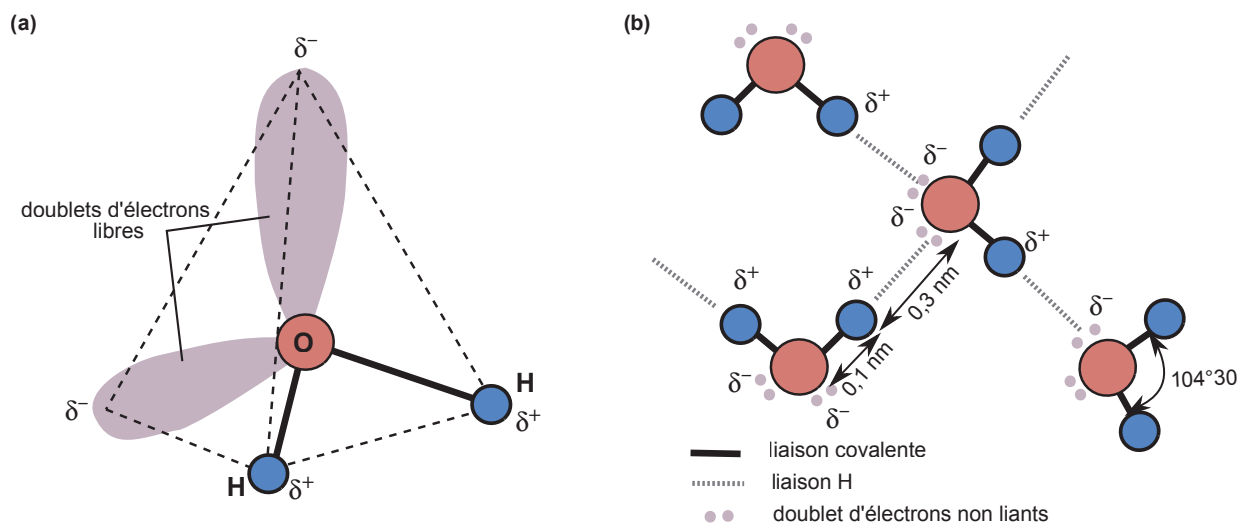


FIGURE 1.7 Architecture de la molécule d'eau (a) et liaisons H entre molécules (b).

### 1.2.2 L'eau, solvant biologique

L'eau est le composant majeur des liquides biologiques comme le sang, les sèves, le milieu interstitiel et les différents compartiments cellulaires des eucaryotes (tableau 1.1). Or, du fait de sa polarité, l'eau est un excellent solvant et tous ces liquides renferment de nombreux et importants solutés. Le cytosol est une véritable solution colloïdale dans laquelle les biomolécules sont en solution et peuvent réagir entre elles.

On distingue deux catégories de composés selon leur comportement vis-à-vis de l'eau :

1. les composés **hydrophiles**, polaires. Les plus petits, **hydrosolubles**, forment par l'intermédiaire de liaisons H une solution aqueuse. Les plus gros, moins solubles, forment des solutions colloïdales.
2. les composés **hydrophobes**, apolaires, ne forment pas de solution avec l'eau. **Liposolubles**, non miscibles dans l'eau, ils peuvent constituer une émulsion après agitation.

## a) Les composés hydrophiles

### La solubilisation des sels minéraux

Dans l'eau, les sels comme NaCl sont totalement dissociés en ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  qui s'entourent d'un manchon aqueux ou couronne de solvation (figure 1.8). Lors de la dissolution d'un cristal de NaCl, les molécules d'eau s'insèrent entre les ions constitutifs du cristal et orientent vers eux leur pôle de charge électrique opposée. Par effet d'écran, ceci affaiblit fortement l'attraction entre les ions. La cohésion du cristal est diminuée, facilitant ainsi sa dissolution.

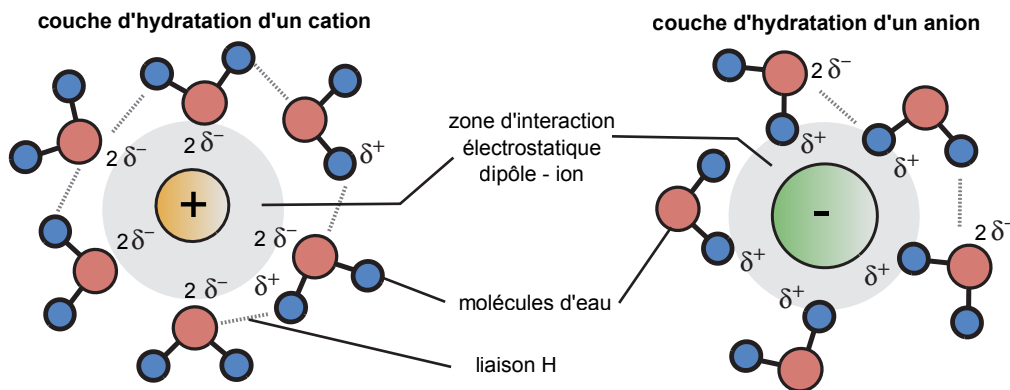


FIGURE 1.8 La solvatation des ions dans l'eau.

La couronne de solvation empêche la reconstitution du cristal et c'est sous forme solvatée que les ions diffusent dans la solution aqueuse.

### La solubilisation des molécules polaires

Pour les petites molécules organiques ionisées ou polaires, des liaisons H s'établissent entre les dipôles de l'eau et ceux des groupes fonctionnels ionisés ou polaires (carboxyle, aldéhyde, alcool, cétone, amine - figure 1.2) ; ceci conduit à leur solubilisation.

L'eau forme également des couches d'hydratation autour de grosses molécules, dotées de groupements polaires à forte affinité pour l'eau (polyosides, protéines, glycoprotéines recouvertes d'oses très polaires). Ces molécules sont hydrophiles mais peu hydrosolubles dans les conditions ordinaires en raison de leur grande taille ou de leur organisation en réseau. Une élévation de température ou un changement de pH peut suffire à les rendre hydrosolubles. C'est le cas des macromolécules fibreuses des matrices extracellulaires (collagène) et des macromolécules de réserve (amidon).

Dans les conditions naturelles, les acides hyaluroniques des matrices extracellulaires animales se comportent comme de volumineux polyanions dont les fonctions acides carboxyliques  $-\text{COO}^-$  forment un maillage qui piège les molécules d'eau. Ceci confère à ces matrices les propriétés d'un gel dont le haut degré d'hydratation est propice aux échanges.

### La solubilisation des gaz

L'eau dissout aussi les gaz respiratoires. Une faible part du dioxygène sanguin (1,5 %) est dissoute ; le reste est sous forme combinée à l'hémoglobine. Pour le  $\text{CO}_2$ , 7 à 10 % sont transportés sous forme dissoute du fait de la plus grande solubilité de ce gaz. Cette dissolution obéit à la loi de Henry :

$$C_i = K_i \cdot P_i \text{ avec } P_i = \% i \cdot P_{\text{atm}} \quad (1.4)$$

$C_i$  est la quantité molaire de gaz  $i$  dissous ;  $K_i$  est la constante de solubilité de  $i$  dans l'eau : elle est fonction de la température ;  $P_i$  est la pression partielle de  $i$  dans l'air au-dessus de l'eau et  $P_{\text{atm}}$  la pression atmosphérique.

Le  $\text{CO}_2$  réagit avec l'eau du plasma ou du cytosol des cellules selon la réaction :  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$ . Cette réaction, catalysée par l'anhydrase carbonique dans les hématies et certaines

Voir chapitre 9,  
§ 9.3.2c

cellules végétales, joue un rôle de premier plan dans le transport des gaz respiratoires et dans l'équilibre acido-basique du sang.

### b) Les composés hydrophobes

Ces composés se disposent de façon à présenter un contact minimal avec l'eau (figure 1.6). Leur structure moléculaire révèle un nombre élevé de liaisons covalentes C–H et C–C apolaires ; ainsi, les groupements  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{CH}_2-$ ,  $-\text{CH}=\text{}$  « fuient » le contact avec les molécules d'eau. Cela concerne en particulier les acides gras, composants des lipides (tableau 1.9 et § 1.4.2). Dans une molécule d'acide gras, l'hydrophobie de la longue chaîne carbonée l'emporte sur l'hydrophilie de la fonction  $-\text{COOH}$ . Ces molécules ayant une extrémité hydrophile et une extrémité hydrophobe sont dites **amphiphiles** ou **amphipathiques**. En présence d'eau et selon leur concentration, elles se disposent en film ou en micelles (structures globulaires à cœur hydrophobe et à périphérie hydrophile). Cette propriété est à la base de structures comme les membranes biologiques ou comme les micelles lipidiques de la lumière intestinale. L'hydrophobie est une propriété importante à l'échelle moléculaire : l'environnement hydrophobe du site actif des enzymes et les sites de fixation d' $\text{O}_2$  de la molécule d'hémoglobine en sont des exemples.

Voir chapitre 3,  
§ 3.1.2b

Voir chapitre 6,  
§ 6.2.1e

### 1.2.3 La liaison H confère à l'eau ses propriétés physiques

Les molécules d'eau interagissent par des liaisons H (§ 1.1.3 et figure 1.7) dès qu'elles sont suffisamment proches. Leur énergie est maximale lorsque les atomes sont alignés mais elle ne dépasse pas 10 à 20  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Chaque molécule d'eau peut établir au plus quatre liaisons H avec d'autres molécules d'eau : deux avec l'oxygène et une pour chaque atome d'hydrogène (figure 1.7). L'eau liquide forme ainsi un vaste réseau lié par des liaisons H. Le nombre de liaisons par molécule est fonction de la température ; il est maximal (4) dans la glace, nul pour la vapeur d'eau, et intermédiaire dans l'eau liquide (3 en moyenne par molécule à 37 °C). Comparée à une molécule semblable mais non polaire, le méthane  $\text{CH}_4$ , qui est gazeux à température ordinaire, l'eau est un liquide de viscosité modeste ce qui facilite son transport. L'eau est fortement cohésive ; ceci a plusieurs conséquences importantes résumées dans le tableau 1.7.

TABLEAU 1.7 LES PROPRIÉTÉS DE L'EAU DUES AUX LIAISONS H.

Nom de la propriété	Définition	Conséquences biologiques
Tension superficielle $T = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$	Force développée à l'interface eau-air et qui résulte de la cohésion des molécules d'eau entre elles	Phénomène de compliance alvéolaire ( <i>Biologie 2<sup>e</sup> année</i> , ch. 1, § 1.2.2a). Mécanisme de l'aspiration foliaire : loi de Jurin : $F = -2T/r$ avec $r =$ rayon du ménisque dans le mésophylle ( <i>Biologie 2<sup>e</sup> année</i> , ch. 5, § 5.1.4a). Déplacement possible en surface de certains insectes (pâtineur d'eau).
Forte chaleur de vaporisation $2,26 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$	Energie à fournir pour vaporiser 1 g d'eau à 37° C et donc rompre toutes les liaisons H	Thermorégulation : animaux par sudation et végétaux terrestres par transpiration foliaire Préserve l'état liquide de l'eau en toutes saisons : fluide de transport au sein de l'organisme et entre les organismes et le milieu extérieur (vecteur de gamètes).
Chaleur spécifique élevée. $4,18 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ soit 1 calorie	Quantité d'énergie nécessaire pour élever de 1 °C la température de 1 gramme d'eau à 25 °C	Excellent tampon thermique qui protège les structures cellulaires thermolabiles lors de brusques variations de température externes ou internes (activité musculaire par exemple).