

TOUT EN FICHES

LE COURS

LICENCE / CAPES / PRÉPAS

# BIOLOGIE

4<sup>e</sup> édition

*Sous la direction de*

**Daniel Richard** - Professeur d'université, retraité

**Patrick Chevalet**

Maître de conférences à l'ESPE (Toulouse)

**Sylvie Fournel**

Professeure à l'université de Strasbourg

**Nathalie Giraud**

Professeure agrégée à l'ESPE (Toulouse)

**Frédéric Gros**

Maître de conférences à l'université de Strasbourg

**Patrick Laurenti**

Maître de conférences à l'université Paris Diderot

**Fabienne Pradère**

Professeure agrégée à l'ESPE (Toulouse)

**Thierry Soubaya**

Professeur agrégé en classes préparatoires BCPST

DUNOD

### Crédits iconographiques :

- Illustration de couverture : © Michel Poinsignon/Biosphoto
- Page 1 : Bois homoxylé de Pin, © Thierry Soubaya
- Page 123 : Syrphe, © Christelle Daubignard
- Page 185 : Crosses de Filicophyte, © *pgm*/Fotolia.com
- Page 363 : *Geranium Robertanium*, © Christelle Daubignard
- Page 559 : Méduses, © *Dmitrijs Mihejevs*/Fotolia.com
- Page 659 : Macareux moine © Julien Daubignard

Tous les schémas et toutes les photographies non mentionnées ci-dessus sont de Daniel Richard.

<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. 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>
--	---	---

© Dunod, 2010, 2012, 2015, 2018  
11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)  
ISBN 978-2-10-076930-8

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2<sup>o</sup> et 3<sup>o</sup> 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	XIII
COMMENT UTILISER CET OUVRAGE	XIV-XV
ABRÉVIATIONS	XVI
ARBRES PHYLOGÉNÉTIQUES	XVIII
REMERCIEMENTS	XX

## Partie 1 L'organisation des systèmes biologiques

<b>CHAPITRE 1 L'ORGANISATION DES CELLULES EUROCARYOTES ET PROCARYOTES ET DES VIRUS</b>	<b>3</b>
Fiche 1 L'unité du vivant	4
Fiche 2 Les trois domaines du vivant	6
Fiche 3 Les constituants chimiques fondamentaux du vivant	8
Fiche 4 Les macromolécules	10
Fiche 5 La cellule eucaryote	12
Fiche 6 La cellule des Embryophytes	14
Fiche 7 La cellule bactérienne	16
Fiche 8 La cellule des Archées	18
Fiche 9 Les virus	20
Fiche 10 La membrane plasmique	22
Fiche 11 Les échanges transmembranaires	24
Fiche 12 Membrane plasmique et gradient électrochimique	26
Fiche 13 Pompe Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup> et potentiel de repos	28
Fiche 14 Membranes et compartimentation intracellulaire	30
Fiche 15 Les molécules du cytosquelette	32
Fiche 16 Fonctions du cytosquelette des Eucaryotes	34
Fiche 17 Les mitochondries	36
Fiche 18 Les plastes	38
Fiche 19 Le noyau des cellules eucaryotes	40
Fiche 20 L'adressage des protéines chez les Eucaryotes	42
<i>Focus Les prions</i>	44
QCM	45
<b>CHAPITRE 2 L'ORGANISATION SUPRA-CELLULAIRE DU VIVANT</b>	<b>47</b>
Fiche 21 La diversité des tissus des Eumétazoaires : tissus épithélial et conjonctif	48
Fiche 22 La diversité des tissus des Eumétazoaires : tissus musculaires et nerveux	50
Fiche 23 La diversité des tissus des Spermatophytes : tissus de recouvrement et de soutien	52
Fiche 24 La diversité des tissus des Spermatophytes : tissus parenchymateux et conducteur	54
Fiche 25 Les tissus méristématiques des Embryophytes	56
Fiche 26 Les matrices extracellulaires des Eumétazoaires	58
Fiche 27 Les matrices extracellulaires végétales	60
Fiche 28 Les jonctions communicantes	62
Fiche 29 Les jonctions d'adhérence des Métazoaires	64
Fiche 30 La lignification	66
<i>Focus Les voies symplasmique et apoplasmique</i>	68
QCM	69

<b>CHAPITRE 3 ÉVOLUTION ET DIVERSITÉ DES ÊTRES VIVANTS</b>	<b>71</b>
Fiche 31 L'évolution, théorie unificatrice de la biologie	72
Fiche 32 La génétique, base de l'hérédité	74
Fiche 33 Génétique et forces évolutives	76
Fiche 34 L'épigénétique	78
Fiche 35 Histoire évolutive du vivant, quelques repères	80
Fiche 36 Représenter la parenté entre les espèces	82
Fiche 37 Regrouper selon un arbre phylogénétique	84
Fiche 38 L'homologie doit être déduite d'une analyse phylogénétique	86
Fiche 39 Nomenclature et classification actuelles	88
Fiche 40 Les concepts abandonnés	90
Fiche 41 Métazoaires et Eumétazoaires dans la phylogénie du vivant	92
Fiche 42 Les Porifères ou éponges	94
Fiche 43 Les Cnidaires	96
Fiche 44 Diversité des Bilatériens	98
Fiche 45 Mésoderme et cœlome chez les Bilatériens	100
Fiche 46 La métamérie	102
Fiche 47 Les Mollusques, un exemple de Lophotrochozoaires	104
Fiche 48 Les Arthropodes, un exemple d'Ecdysozoaires	106
Fiche 49 Les Cordés, un exemple de Deutérostomiens	108
Fiche 50 Les Eumycètes	110
Fiche 51 La Lignée verte ou Archéoplastidés	112
Fiche 52 Les Bryophytes, un exemple d'Embryophyte	114
Fiche 53 Les Fougères	116
Fiche 54 Les Pinales	118
Fiche 55 Les Angiospermes	120
<i>Focus</i> Les apports d'une découverte	122
QCM	123

## Partie 2 Information génétique

<b>CHAPITRE 4 L'ADN : STABILITÉ ET VARIABILITÉ</b>	<b>127</b>
Fiche 56 L'ADN, support de l'information génétique	128
Fiche 57 L'organisation du matériel génétique dans les cellules	130
Fiche 58 La réplication de l'ADN, caractéristiques générales	132
Fiche 59 Les étapes de la réplication de l'ADN	134
Fiche 60 Les mutations	136
Fiche 61 Les systèmes de réparation de l'ADN	138
Fiche 62 Les recombinaisons génétiques	140
Fiche 63 La transposition	142
Fiche 64 Les échanges de matériel génétique entre Bactéries	144
<i>Focus</i> Mise en évidence du rôle de l'ADN en tant que support de l'information génétique	146
QCM	147
<b>CHAPITRE 5 L'EXPRESSION DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE ET SON CONTRÔLE</b>	<b>149</b>
Fiche 65 L'expression de l'information génétique	150
Fiche 66 La transcription des gènes	152
Fiche 67 La maturation des ARN messagers chez les Eucaryotes	154
Fiche 68 Les étapes de la traduction	156
Fiche 69 Le contrôle de l'expression des gènes chez les Bactéries	158
Fiche 70 Le contrôle transcriptionnel de l'expression génétique eucaryote	160

Fiche 71	Le contrôle post-transcriptionnel de l'expression génétique eucaryote	162
Fiche 72	Le contrôle de la traduction chez les Eucaryotes	164
Fiche 73	La maturation des protéines	166
Focus	<i>Transcriptome et protéome, une nouvelle approche pour étudier l'expression des gènes</i>	168
QCM		169
<b>CHAPITRE 6</b>	<b>LES TECHNIQUES DE GÉNÉTIQUE MOLÉCULAIRE</b>	<b>171</b>
Fiche 74	La caractérisation d'un gène	172
Fiche 75	La technologie de l'ADN recombinant	174
Fiche 76	Les méthodes d'amplification d'ADN	176
Fiche 77	Exemples d'applications du génie génétique	178
Focus	<i>La génomique</i>	180
QCM		181

## Partie 3 Métabolisme et fonctions de nutrition

<b>CHAPITRE 7</b>	<b>LE MÉTABOLISME</b>	<b>185</b>
Fiche 78	Le métabolisme intermédiaire : concepts généraux	186
Fiche 79	Les principales caractéristiques des voies métaboliques	188
Fiche 80	Enzymes et réactions chimiques en conditions physiologiques	190
Fiche 81	Enzymes et contrôle des voies métaboliques	192
Fiche 82	Les différentes formes d'énergie cellulaire	194
Fiche 83	Les couplages énergétiques	196
Fiche 84	Le catabolisme des glucides à des fins énergétiques	198
Fiche 85	Les voies d'oxydation du glucose	200
Fiche 86	Le catabolisme des lipides à des fins énergétiques	202
Fiche 87	Le cycle de Krebs, une voie amphibolique	204
Fiche 88	Les voies de synthèse endogène des substrats énergétiques	206
Fiche 89	La production d'ATP à l'échelle cellulaire	208
Fiche 90	La photosynthèse chez les Embryophytes	210
Fiche 91	Les pigments de la photosynthèse	212
Fiche 92	Les processus d'oxydo-réduction au niveau des thylakoïdes	214
Fiche 93	La photorespiration	216
Fiche 94	L'efficacité de la photosynthèse chez les Angiospermes de type C3, C4 et CAM	218
Fiche 95	Les molécules de réserve organiques	220
Fiche 96	La formation des réserves organiques chez les Spermatophytes	222
Fiche 97	La formation des réserves organiques chez les Eumétazoaires	224
Fiche 98	Les métabolites secondaires des Spermatophytes	226
Focus	<i>Étude cinétique des réactions enzymatiques</i>	228
QCM		229
<b>CHAPITRE 8</b>	<b>L'ÉQUILIBRE DES COMPARTIMENTS LIQUIDIENS</b>	<b>231</b>
Fiche 99	Les compartiments liquidiens chez l'Homme	232
Fiche 100	Le sang	234
Fiche 101	La notion d'homéostasie	236
Fiche 102	La régulation de la glycémie	238
Fiche 103	La régulation du pH plasmatique	240
Fiche 104	L'homéostasie calcique chez l'Homme	242
Fiche 105	Osmolarité des organismes et facteurs du milieu	244
Fiche 106	L'osmorégulation des Eumétazoaires vivant en milieu aquatique	246

Fiche 107	L'osmorégulation des Eumétazoaires vivant en milieu aérien	248
Fiche 108	Le rein des Mammifères, organe de l'équilibre hydrominéral	250
Fiche 109	Les échanges thermiques avec le milieu	252
Fiche 110	Les mécanismes thermorégulateurs	254
Fiche 111	La sève brute chez les Embryophytes	256
Fiche 112	La sève élaborée chez les Embryophytes	258
Fiche 113	Les échanges stomatiques et l'équilibre hydrique des plantes terrestres	260
<i>Focus</i>	<i>Les diabètes sucrés</i>	262
QCM		263
<b>CHAPITRE 9</b>	<b>LA CIRCULATION</b>	<b>265</b>
Fiche 114	La circulation des liquides internes chez les Eumétazoaires	266
Fiche 115	Les pompes cardiaques	268
Fiche 116	Le cœur des Mammifères	270
Fiche 117	L'automatisme cardiaque chez les Mammifères	272
Fiche 118	L'électrocardiogramme (ECG)	274
Fiche 119	Cellules myocardiques et contraction du cœur des Mammifères	276
Fiche 120	Le débit cardiaque et son contrôle chez les Mammifères	278
Fiche 121	La circulation dans les vaisseaux	280
Fiche 122	L'organisation fonctionnelle des différents segments du système circulatoire	282
Fiche 123	La pression artérielle et son déterminisme chez les Mammifères	284
Fiche 124	La régulation de la pression artérielle	286
Fiche 125	La circulation des sèves	288
Fiche 126	Les moteurs du déplacement des sèves	290
<i>Focus</i>	<i>Les maladies cardiovasculaires</i>	292
QCM		293
<b>CHAPITRE 10</b>	<b>LA NUTRITION</b>	<b>295</b>
Fiche 127	Les besoins nutritifs des Embryophytes	296
Fiche 128	Absorption et assimilation de l'azote du sol	298
Fiche 129	Absorption et assimilation du diazote	300
Fiche 130	Les aliments, nutriments et besoins alimentaires chez l'Homme	302
Fiche 131	La prise alimentaire chez les Eumétazoaires	304
Fiche 132	Les structures digestives chez les Eumétazoaires	306
Fiche 133	L'appareil digestif humain : anatomie et motricité	308
Fiche 134	Les sécrétions digestives et la digestion chez l'Homme	310
Fiche 135	L'absorption intestinale chez l'Homme	312
Fiche 136	Les cycles de développement et les réserves organiques chez les Embryophytes	314
Fiche 137	Les échanges entre organes puits et organes sources chez les Embryophytes	316
Fiche 138	La symbiose mycorhizienne	318
<i>Focus</i>	<i>Les méthodes calorimétriques</i>	320
QCM		321
<b>CHAPITRE 11</b>	<b>LA RESPIRATION</b>	<b>323</b>
Fiche 139	Les gaz respiratoires et les surfaces d'échanges	324
Fiche 140	Échangeurs respiratoires et milieu de vie	326
Fiche 141	La respiration branchiale	328
Fiche 142	La respiration pulmonaire des Mammifères	330
Fiche 143	La diversité des appareils pulmonaires	332
Fiche 144	Le transport des gaz respiratoires par les fluides internes	334
Fiche 145	La prise en charge des gaz respiratoires par les transporteurs	336

Fiche 146	Le contrôle des échanges respiratoires	338
Fiche 147	La respiration lors de changements de milieu de vie	340
<i>Focus</i>	<i>Le surfactant, un film tensioactif particulier</i>	342
QCM		343
<b>CHAPITRE 12</b>	<b>L'EXCRÉTION</b>	<b>345</b>
Fiche 148	Les produits de l'excrétion azotée	346
Fiche 149	Les modalités de fonctionnement des appareils excréteurs	348
Fiche 150	Les principaux types d'appareils excréteurs	350
Fiche 151	Le rein des Vertébrés	352
Fiche 152	Le fonctionnement du néphron des Vertébrés	354
Fiche 153	Excrétion azotée et milieu de vie	356
<i>Focus</i>	<i>Clairance rénale et hémodialyse</i>	358
QCM		359

## Partie 4 Les fonctions de relation

<b>CHAPITRE 13</b>	<b>LES BASES MOLÉCULAIRES DE LA COMMUNICATION INTERCELLULAIRE</b>	<b>363</b>
Fiche 154	Les récepteurs membranaires	364
Fiche 155	Les seconds messagers intracellulaires	366
Fiche 156	Les protéines G	368
Fiche 157	Les récepteurs cytoplasmiques	370
Fiche 158	Les récepteurs nucléaires	372
<i>Focus</i>	<i>La notion de communication</i>	374
QCM		375
<b>CHAPITRE 14</b>	<b>LA COMMUNICATION NERVEUSE</b>	<b>377</b>
Fiche 159	La cytologie du neurone	378
Fiche 160	Les cellules gliales	380
Fiche 161	Les messages nerveux	382
Fiche 162	Les bases ioniques du potentiel d'action sodique	384
Fiche 163	La transmission synaptique	386
Fiche 164	Les principaux neuromédiateurs	388
Fiche 165	Les récepteurs post-synaptiques des neuromédiateurs	390
Fiche 166	La plasticité synaptique	392
Fiche 167	L'anatomie comparée du système nerveux	394
Fiche 168	L'encéphale des Vertébrés	396
Fiche 169	Le système neurovégétatif	398
<i>Focus</i>	<i>Ne pas confondre conduction électrique et conduction régénérative</i>	400
QCM		401
<b>CHAPITRE 15</b>	<b>LA COMMUNICATION HORMONALE</b>	<b>403</b>
Fiche 170	Les messagers hormonaux : de la synthèse à la cellule cible	404
Fiche 171	Le système hypothalamo-hypophysaire chez l'Homme	406
Fiche 172	Corticosurrénales et corticostéroïdes	408
Fiche 173	Médullosurrénales et catécholamines	410
Fiche 174	Thyroïde et hormones thyroïdiennes	412
Fiche 175	Pancréas et hormones pancréatiques	414
Fiche 176	Glandes et hormones agissant sur la calcémie	416
Fiche 177	Les phytohormones, messagers des Spermatophytes	418
Fiche 178	Les caractéristiques des principales phytohormones	420

Fiche 179	Le mode d'action des phytohormones sur les cellules	422
Fiche 180	Interactions phytohormonales et contrôle de la germination	424
Fiche 181	Les phytohormones et le développement de l'appareil végétatif	426
Fiche 182	L'auxine et le grandissement cellulaire	428
<i>Focus</i>	<i>La découverte des hormones et des phytohormones</i>	430
QCM		431
<b>CHAPITRE 16</b>	<b>LES FONCTIONS SENSORIELLES</b>	<b>433</b>
Fiche 183	Fonctions sensorielles et modes de vie	434
Fiche 184	Le fonctionnement des systèmes sensoriels	436
Fiche 185	La sensibilité visuelle chez l'Homme	438
Fiche 186	L'œil et la formation des images sur la rétine chez l'Homme	440
Fiche 187	La rétine, une portion du système nerveux central	442
Fiche 188	La diversité des systèmes visuels chez les Eumétazoaires	444
Fiche 189	La transduction du signal lumineux chez les Vertébrés	446
Fiche 190	Le traitement de l'information visuelle au niveau de la rétine	448
Fiche 191	Le traitement de l'information visuelle par le cortex visuel des Mammifères	450
Fiche 192	La sensibilité au toucher	452
Fiche 193	La sensibilité à la position du corps dans l'espace	454
Fiche 194	La sensibilité thermique	456
Fiche 195	La sensibilité chimique	458
Fiche 196	La douleur	460
Fiche 197	La sensibilité auditive chez l'Homme	462
Fiche 198	L'organisation fonctionnelle de l'oreille interne chez l'Homme	464
Fiche 199	Le codage de l'information par les récepteurs auditifs chez l'Homme	466
Fiche 200	Le traitement central de l'information auditive chez l'Homme	468
Fiche 201	Audition et communication interindividuelle	470
<i>Focus</i>	<i>La mesure des champs récepteurs sensoriels</i>	472
QCM		473
<b>CHAPITRE 17</b>	<b>LA SENSIBILITÉ CHEZ LES EMBRYOPHYTES</b>	<b>475</b>
Fiche 202	Le déterminisme de la floraison	476
Fiche 203	Le déterminisme de la germination	478
Fiche 204	Les phototropines	480
Fiche 205	Phototropisme et gravitropisme	482
<i>Focus</i>	<i>Les nasties</i>	484
QCM		485
<b>CHAPITRE 18</b>	<b>LA MOTRICITÉ</b>	<b>487</b>
Fiche 206	L'organisation fonctionnelle du muscle squelettique	488
Fiche 207	La contraction et l'élasticité musculaires	490
Fiche 208	Le couplage excitation contraction	492
Fiche 209	Les réflexes médullaires polysynaptiques	494
Fiche 210	Le réflexe myotatique	496
Fiche 211	Le contrôle de la posture	498
Fiche 212	La commande du mouvement volontaire	500
Fiche 213	Programmation et contrôle de l'exécution du mouvement volontaire	502
<i>Focus</i>	<i>Les principales pathologies musculaires</i>	504
QCM		505

<b>CHAPITRE 19 LES DÉFENSES DE L'ORGANISME</b>	<b>507</b>
Fiche 214 Le système immunitaire et le maintien de l'intégrité de l'organisme	508
Fiche 215 Les barrières de l'ante-immunité	510
Fiche 216 Les organes et les cellules du système immunitaire	512
Fiche 217 Les récepteurs de l'immunité innée	514
Fiche 218 La réponse inflammatoire	516
Fiche 219 Les systèmes de défense moléculaires de l'immunité innée	518
Fiche 220 Les lymphocytes de l'immunité innée	520
Fiche 221 Défenses cellulaires de l'immunité innée : la phagocytose	522
Fiche 222 Les cellules dendritiques	524
Fiche 223 Antigènes et immunogènes	526
Fiche 224 Les protéines du CMH et leurs fonctions	528
Fiche 225 La présentation de l'antigène par le CMH	530
Fiche 226 Les lymphocytes T auxiliaires : chefs d'orchestre de la réponse immunitaire adaptative	532
Fiche 227 La réponse cytotoxique adaptative	534
Fiche 228 La réaction immunitaire adaptative à médiation humorale	536
Fiche 229 Les cellules régulatrices	538
Fiche 230 La génération des répertoires T et B	540
Fiche 231 Les anticorps, effecteurs moléculaires de la réponse adaptative humorale	542
Fiche 232 L'auto-immunité	544
Fiche 233 Les hypersensibilités allergiques	546
Fiche 234 Les immunodéficiences	548
Fiche 235 L'immunothérapie	550
Fiche 236 Les agents phytopathogènes	552
Fiche 237 Les défenses chez les Embryophytes	554
<i>Focus Histoire de l'immunité</i>	556
QCM	557

## Partie 5 Reproduction et développement

<b>CHAPITRE 20 RENOUELEMENT ET MORT CELLULAIRE</b>	<b>561</b>
Fiche 238 Le cycle cellulaire des Eucaryotes	562
Fiche 239 Le contrôle du cycle cellulaire chez les Eucaryotes	564
Fiche 240 La mitose chez les Eucaryotes	566
Fiche 241 La méiose chez les Eucaryotes	568
Fiche 242 La différenciation du myocyte chez les Vertébrés	570
Fiche 243 Mort cellulaire et apoptose	572
<i>Focus Les cellules souches</i>	574
QCM	575
<b>CHAPITRE 21 LA REPRODUCTION</b>	<b>577</b>
Fiche 244 Les modalités de la reproduction	578
Fiche 245 Oviparité et viviparité	580
Fiche 246 La fonction reproductrice humaine et son contrôle	582
Fiche 247 Le cycle menstruel humain	584
Fiche 248 La gamétogenèse chez les Mammifères	586
Fiche 249 La fécondation chez les Eumétazoaires	588
Fiche 250 De la fécondation à la gestation dans l'espèce humaine	590
Fiche 251 Le placenta : support de la gestation	592
Fiche 252 La naissance chez les Mammifères	594

Fiche 253	La lactation chez les Mammifères	596
Fiche 254	La diversité des modes de multiplication asexuée chez les Bicontes	598
Fiche 255	La diversité des modalités de la rencontre des cellules sexuelles chez les Bicontes	600
Fiche 256	Le modèle de la fleur	602
Fiche 257	Le gynécée de la fleur	604
Fiche 258	Les étamines et le pollen	606
Fiche 259	La formation des gamétophytes chez les Angiospermes	608
Fiche 260	La pollinisation	610
Fiche 261	La fécondation chez les Angiospermes	612
Fiche 262	Les fruits	614
Fiche 263	La graine des Angiospermes	616
Fiche 264	La germination de la graine	618
<i>Focus</i>	<i>La contraception chimique féminine</i>	620
QCM		621

## CHAPITRE 22 CROISSANCE, DÉVELOPPEMENT ET LEUR CONTRÔLE 623

Fiche 265	Les mécanismes généraux de l'ontogenèse chez les Eumétazoaires	624
Fiche 266	De l'œuf à la blastula	626
Fiche 267	La gastrulation chez les Batraciens	628
Fiche 268	La neurulation chez les Batraciens	630
Fiche 269	Le développement indirect	632
Fiche 270	La détermination des polarités antéro-postérieure et dorso-ventrale	634
Fiche 271	L'induction du mésoderme chez les Batraciens	636
Fiche 272	L'organogenèse du membre des Vertébrés tétrapodes	638
Fiche 273	Le déterminisme du sexe chez l'Homme	640
Fiche 274	Les méristèmes primaires	642
Fiche 275	Les méristèmes secondaires	644
Fiche 276	Le fonctionnement de l'apex caulinaire	646
Fiche 277	Les bourgeons	648
Fiche 278	La ramification des tiges	650
Fiche 279	Le développement de l'appareil racinaire	652
Fiche 280	La mise en place de la fleur et des inflorescences	654
<i>Focus</i>	<i>La neurogenèse</i>	656
QCM		657

## Partie 6 Écologie et éthologie

### CHAPITRE 23 RÉPARTITION DES ÊTRES VIVANTS ET FACTEURS ÉCOLOGIQUES 661

Fiche 281	Introduction à l'écologie	662
Fiche 282	Répartition des êtres vivants	664
Fiche 283	Les contraintes abiotiques	666
Fiche 284	La vie dans les déserts chauds	668
Fiche 285	Un exemple d'écosystème, la mare	670
Fiche 286	La dynamique des écosystèmes	672
Fiche 287	Les écotones	674
<i>Focus</i>	<i>La déforestation</i>	676
QCM		677

### CHAPITRE 24 FLUX DE MATIÈRE ET D'ÉNERGIE AU SEIN DE L'ÉCOSYSTÈME 679

Fiche 288	Les réseaux trophiques	680
Fiche 289	La production de matière dans les écosystèmes	682

Fiche 290	Le cycle biogéochimique du carbone	684
Fiche 291	Le cycle de l'azote	686
Fiche 292	Productivité d'un écosystème et valeur de biodiversité	688
Fiche 293	Qualité de l'eau et biodiversité	690
Fiche 294	L'effet de serre	692
<i>Focus</i>	<i>Diversité écologique des Pyrénées : un patrimoine témoin du passé</i>	694
QCM		695
<b>CHAPITRE 25</b>	<b>POPULATIONS ET COMMUNAUTÉS</b>	<b>697</b>
Fiche 295	Les relations intraspécifiques	698
Fiche 296	Les relations interspécifiques positives	700
Fiche 297	Les relations interspécifiques négatives : la compétition	702
Fiche 298	Les relations interspécifiques négatives : prédation et parasitisme	704
<i>Focus</i>	<i>La dynamique des populations</i>	706
QCM		707
<b>CHAPITRE 26</b>	<b>INTRODUCTION À L'ÉTHOLOGIE</b>	<b>709</b>
Fiche 299	Apprentissage et conditionnement	710
Fiche 300	Les bases cellulaires des conditionnements associatifs	712
Fiche 301	La socialité chez les Eumétazoaires	714
Fiche 302	La communication chez les Eumétazoaires	716
Fiche 303	Les comportements parentaux	718
<i>Focus</i>	<i>Quelques repères de l'histoire de l'éthologie</i>	720
QCM		721
<b>GLOSSAIRE FRANÇAIS-ANGLAIS</b>		<b>723</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>		<b>739</b>
<b>INDEX</b>		<b>741</b>



# Avant-propos

Nos connaissances en biologie ont fait d'énormes progrès ces dernières décennies grâce, en particulier, à l'évolution des techniques d'investigation. Ces dernières ont permis d'approfondir aussi bien les aspects moléculaires du fonctionnement du vivant que son analyse systémique.

En particulier, les apports de la génétique ont permis de mieux comprendre l'organisation du vivant. Les organismes vivants sont donc ici classés à la lumière de la théorie de l'évolution, et la biodiversité replacée dans un cadre phylogénétique.

Cet ouvrage est organisé en fonction de ces données modernes. Chaque fois que possible, l'approche est transversale, mettant en avant les principes fondamentaux du fonctionnement des êtres vivants.

Les connaissances sont organisées en 6 grandes parties :

- Organisation des systèmes biologiques ;
- Information génétique ;
- Métabolisme et fonctions de nutrition ;
- Fonctions de relation ;
- Reproduction et développement ;
- Écologie et éthologie ;

au total, 303 fiches permettant d'aborder l'ensemble des aspects de la Biologie.

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

En termes de présentation, cet ouvrage est adapté aux méthodes actuelles de lecture et aux contraintes des étudiants : lecture rapide, représentation imagée avec de nombreux schémas et photographies, QCM avec corrections argumentées, compléments sur site internet, bibliographie.

Un glossaire français-anglais des principaux termes scientifiques permet de retrouver rapidement la définition d'un terme ou d'une notion et sa traduction en anglais. De plus, l'ensemble des abréviations classiquement utilisées en biologie est listé en début d'ouvrage.

Afin de rompre avec ce découpage arbitraire et d'aider à une réflexion globale, 22 thèmes transversaux sont proposés et corrigés sous forme de plan sur le site internet.

Ce livre est en effet accompagné d'un site internet pour les étudiants, conçu comme un véritable complément de l'ouvrage. Il présente :

- une dizaine d'animations illustrant différents processus dynamiques ;
- des photographies supplémentaires ;
- des sujets transversaux et leurs corrections ;
- des QCM supplémentaires ;
- l'accès à certaines illustrations de l'ouvrage.

D'un niveau scientifique correspondant aux étudiants de licence (L2-L3) de Sciences de la Vie, cet ouvrage permettra également aux étudiants de Master préparant les concours de l'enseignement en Sciences de la Vie et de la Terre, ou en Biotechnologie, de réviser simplement et rapidement leurs connaissances.

# Comment utiliser



6 parties

26 chapitres

## Chapitre 12 La respiration

### Plan

Fiche 138	Les gaz respiratoires et les surfaces d'échanges	Fiche 143	Le transport des gaz respiratoires par les fluides internes
Fiche 139	Échangeurs respiratoires et milieu de vie	Fiche 144	La prise en charge des gaz respiratoires par les transporteurs
Fiche 140	La respiration branchiale	Fiche 145	Le contrôle des échanges respiratoires
Fiche 141	La respiration pulmonaire des Mammifères	Fiche 146	La respiration lors de changements de milieu de vie
Fiche 142	La diversité des appareils pulmonaires		

### Les bonus web sur Dunod.com

- Testez vos connaissances sur ce chapitre avec le quiz en ligne corrigé et commenté!
- Retrouvez les documents complémentaires signalés par dans les fiches.

303 fiches en double page

Les notions essentielles du cours avec des renvois pour naviguer d'une fiche à l'autre ou consulter les bonus web sur Dunod.com.

### fiche 70 Le contrôle post-transcriptionnel de l'expression génétique eucaryote

Chez les Eucaryotes, le contrôle de l'expression génétique est assuré par différents mécanismes et porte sur différentes étapes de l'expression des gènes. En plus de la régulation de l'initiation de la transcription, différents mécanismes post-transcriptionnels ont été développés chez ces organismes.

#### 1. La régulation par modification de la structure des ARN

##### ■ L'épissage alternatif des ARN pré-messagers

Les transcrits primaires, issus d'amplis de transcription complexes, peuvent conduire à différentes protéines, suite à un processus d'épissage qualifié d'alternatif ou de différentiel. Ce phénomène permet d'obtenir différents ARN messagers à partir d'un même gène, dans des types cellulaires distincts, ou à des moments différents du développement.

Ce processus est régulé par des protéines capables de se lier sur des séquences spécifiques de l'ARN pré-messager, proches des sites d'épissage. Elles empêchent ou stimulent alors l'élimination d'introns et le rapprochement d'exons particuliers. Les répresseurs agissent soit en empêchant l'interaction des facteurs d'épissage avec l'ARN soit en inhibant leur activité. Les activateurs, quant à eux, stimulent l'épissage en favorisant la fixation des facteurs d'épissage sur les sites spécifiques.

##### ■ La retouche ou l'édition des ARN messagers

Les processus de retouche des ARN correspondent à des modifications de séquences des ARN pré-messagers par addition, élimination ou modification de base.

Ces mécanismes, très répandus dans les mitochondries des Protozoaires et des Plantes, ainsi que dans les chloroplastes, restent plus rares chez les Eucaryotes supérieurs. Ils peuvent cependant avoir des conséquences fonctionnelles significatives. Ainsi, chez les Mammifères, ce processus est à l'origine de l'expression de deux formes alternatives de l'apolipoprotéine B (Apo-B100 hépatique et Apo-B48 intestinale), protéine sérique présente dans les chylomicrons et les LDL (Low Density Lipoprotein) (Figure 1). Les LDL transportent le cholestérol aux tissus périphériques qui possèdent des récepteurs spécifiques à l'Apo B-100.

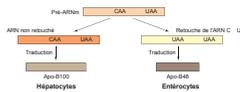


Figure 1 Retouche de l'ARN messager codant l'apolipoprotéine B. Dans les hépatocytes à gauche, l'ARN pré-messager est conduit à la synthèse d'une protéine de 100 acides aminés (Apo-B100). Dans les cellules intestinales (à droite), l'ARN est retouché par modification de base, ce qui introduit un codon stop et conduit à la synthèse d'une protéine de 48 acides aminés (Apo-B48).

#### 2. La régulation par dégradation des ARN messagers

##### ■ La dégradation des ARNm induite par les ARN interférents

Le phénomène d'interférence d'ARN (ARNi) est initié par la reconnaissance d'ARN double brin d'origine exogène (notamment viral) ou endogène, tels que les transposons, par un complexe nucléosomique, nommé *DICER* (Figure 2).

Ce complexe découpe l'ARN double brin (ARNdb) en petits fragments d'une vingtaine de nucléotides et le transforme en ARN simple brin : ils sont alors qualifiés de petits ARN interférents (ARNsi, small interfering RNA). L'un des deux brins d'ARN est alors pris en charge par le complexe protéique RISC (*RNA-Induced Silencing Complex*) qui le positionne sur l'ARNm dont il est complémentaire. L'appariement parfait entre ARNm et ARNsi entraîne la destruction de l'ARNm grâce à l'activité endonucléasique de RISC.

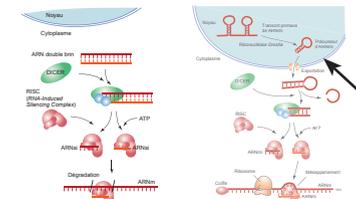


Figure 2 Dégradation des ARNm par la voie de l'interférence d'ARN, rôle des ARNsi

■ La dégradation des ARNm contrôlée par des facteurs protéiques  
En se fixant sur des séquences déséquilibrées, localisées dans la région UTR 3' des ARNm, les protéines de liaison aux éléments de réponse (RE-BP, *Response Element - Binding Protein*) limitent la dégradation des ARNm.

Ce système de régulation contrôle notamment l'importation de fer dans les cellules en contrôlant la dégradation de l'ARN codant pour le récepteur à la transferrine, protéine de transport du fer ingéré chez les Vertébrés (figure 3).



Figure 3 Régulation de la dégradation de l'ARN messager du récepteur à la transferrine. En se fixant sur le problème de liaison aux éléments de réponse au fer (RE-BP = RE BP du fer), le fer modifie la conformation de la protéine et son affinité pour les séquences localisées en 3' sur l'ARNm qui est alors dégradé.

Plus de 800 schémas et photos pour illustrer chaque notion importante.

# cet ouvrage ?

En fin de chapitre, 10 QCM pour s'entraîner.

Les réponses commentées au verso.

**QCM**

Indiquez la réponse exacte.

1 - Les muscles squelettiques des Vertébrés permettent les mouvements :

- a - des organes au sein d'organismes
- b - des organes eux-mêmes
- c - des pièces squelettiques les unes par rapport aux autres
- d - parois

2 - L'ATP constitue l'énergie de réserve des fibres musculaires :

- a - oui
- b - non
- c - parfois

3 - Le calcium permet la contraction musculaire en :

- a - se fixant sur l'ATP
- b - créant un lien entre l'actine et la myosine
- c - se fixant sur la troponine
- d - se fixant sur la tropomyosine

4 - La contraction musculaire est due :

- a - au raccourcissement des filaments de myosine
- b - au raccourcissement des filaments d'actine
- c - à l'augmentation du diamètre du muscle
- d - au glissement des filaments épais par rapport aux filaments fins

5 - Les tubules transversés des fibres musculaires striées sont :

- a - issus de l'appareil de Golgi
- b - des dérivés de la membrane plasmique
- c - des différenciations du réticulum endoplasmique
- d - des différenciations du système endoplasmique

6 - Chez les Vertébrés, les neurones commandant la contraction musculaire sont :

- a - issus du cortex moteur
- b - localisés dans la moelle épinière
- c - localisés dans des ganglions nerveux
- d - la jonction neuromusculaire est une synapse dont le neurodendrite est :

- a - le glutamate
- b - l'acétylcholine
- c - la sérotonine
- d - un peptid

7 - La transmission synaptique entre le motoneurone et la fibre musculaire :

- a - peut être modulée au niveau présynaptique par l'action d'autres neurodendrites
- b - peut être modulée au niveau postsynaptique par l'action d'autres neurodendrites
- c - n'est pas modulable

8 - Le réflexe myotatique est un réflexe :

- a - monosynaptique
- b - polysynaptique
- c - associé à une stimulation douloureuse du muscle

9 - La programmation du mouvement est réalisée par :

- a - la moelle épinière
- b - les ganglions de la base, les aires motrices et le cervelet
- c - uniquement le cervelet
- d - le cortex moteur

507

**Réponses**

1 - c. Les muscles squelettiques sont effectivement fixés sur des pièces squelettiques et permettent leurs mouvements relatifs, de façon comparable à des systèmes striés, et leurs mouvements propres sont assurés par des muscles lisses insérés dans la paroi.

2 - b. L'ATP n'est pas une molécule de réserve énergétique. Suite à sa dégradation, il est régénéré en permanence à partir de molécules servant de réserve énergétique. En fait, il peut constituer une réserve indirecte capable de donner de l'ATP rapidement.

3 - c. Le calcium se fixe sur la troponine, ce qui libère la tropomyosine des filaments fins, il ne peut, en aucun cas, se fixer à l'ATP, ou assurer le lien entre molécules organiques.

4 - d. Lors de la contraction musculaire, il n'y a pas de changement de longueur des filaments. Ceux-ci glissent les uns sur les autres. L'augmentation de diamètre du muscle est due à son raccourcissement et le volume global restant identique et non l'inverse.

5 - b. La membrane plasmique des fibres musculaires s'invacline pour former les tubules transversés qui sont proches du réticulum sarcoplasmique, mais en sont séparés. L'appareil de Golgi n'est pas plus développé dans les fibres musculaires que dans la plupart des autres cellules de l'organisme.

6 - b. Les motoneurones issus du cortex moteur font des relais synaptiques sur les motoneurones de la moelle épinière qui, eux, innervent directement les fibres musculaires striées. Chez les Vertébrés, il existe des ganglions nerveux uniquement au sein de certains organes autonomes de l'organisme (intestin, cœur, etc.).

7 - b. La jonction musculaire est l'un des exemples les mieux connus de jonction cholinergique. La partie postsynaptique possède des récepteurs nicotiniques constitués de canaux ioniques perméables aux cations.

8 - c. Chez les Vertébrés, la jonction musculaire n'est effectivement pas modulable. Au plan fonctionnel, ceci permet mieux d'envoyer des informations qui seront toujours associées aux points a et b correspondant à des modifications qui peuvent se produire au niveau des synapses du système nerveux central.

9 - a. Le réflexe myotatique met en jeu une seule synapse, il est donc monosynaptique, contrairement au réflexe de flexion, polysynaptique. Sa mise en jeu se fait par un fait associé à des stimulations nociceptives que se produisent pour des valeurs de stimulation élevées.

10 - b. La programmation du mouvement met en jeu un ensemble de structures cérébrales. La moelle joue notamment un rôle dans l'organisation de mouvements rythmiques, mais en aucun cas dans la programmation d'un mouvement volontaire.

508

Des focus techniques ou historiques sur une page à la fin de chaque chapitre.

Et aussi...

- ▶ Un glossaire français/anglais
- ▶ Une liste des abréviations utilisées dans l'ouvrage

**FOCUS** Les apports d'une découverte

Pour être considérée comme valide, une hypothèse scientifique doit, à la fois, s'appuyer au mieux les données disponibles et avoir résolu à toutes les tentatives d'infirmité à son encontre. Ainsi, contrairement à d'autres domaines de la pensée humaine, toute hypothèse scientifique est susceptible d'être abandonnée à la limite d'une découverte qui peut éventuellement invalider le cadre conceptuel dans lequel un phénomène est étudié. C'est ce qui se produit parfois lors de la découverte d'un nouvel organisme vivant ou d'un fossile.

**1. La mâchoire des Gnathostomes**

L'ensemble des Gnathostomes (Vertébrés à mâchoires) comprend des espèces actuelles et des groupes totalement éteints comme les « Placodermes », un groupe traditionnellement considéré comme monosynaptique.

Chez les Chondrichthyens actuels, la boîte crânienne est constituée d'un endosquelette cartilagineux. La mâchoire est formée de cartilage pléurodentaire et de cartilage de Meckel.

Chez les Osteichthyens, ces cartilages se forment lors de l'embryogenèse, puis sont remplacés (pour partie ou en totalité) par de l'os lors de la suite du développement.

Chez les Cystodermes, les mâchoires sont absentes et la squelette est exclusivement cartilagineux.

Compte tenu de ces données, il fut longtemps admis que l'ancêtre des Gnathostomes avait des mandibules formées d'articule cartilagineux uniques (palatocarré et Meckel). L'organisation de la tête était alors supposée s'être compliquée lors de l'évolution des Osteichthyens.

**2. L'appartenance primordiale**

La découverte récente (2013) en Chine d'*Entelognathus primordialis*, un « Placodermes » fossile présentant un crâne complet, daté de 419 Ma, représente un apport majeur pour notre connaissance de l'évolution des Gnathostomes.

En effet, tous les « Placodermes » identifiés jusqu'à présent possédaient des mâchoires supérieures et inférieures formées chacune d'une articulation unique (respectivement os jugal et infra-jugal). Or *Entelognathus primordialis* présente des mandibules formées de plusieurs os dermiques dont certains sont homologues à ceux observés chez les Osteichthyens, notamment les os prémaxillaire et maxillaire dans la mâchoire supérieure et l'os dentaire dans la mâchoire inférieure.

Une telle organisation conduit à formuler deux hypothèses :

- les os de la mâchoire sont apparus indépendamment dans la lignée d'*Entelognathus primordialis* dans celle des Osteichthyens ;
- les os de la mâchoire ne sont apparus qu'une fois dans la lignée des Gnathostomes et ont été perdus chez les Chondrichthyens.

Une application stricte du critère de parcimonie ne permet pas de discriminer ces deux hypothèses. Cependant la formation indépendante de deux structures à la fois complexes et très similaires au cours de l'évolution est un événement extrêmement rare, en revanche la perte d'un organe, même complexe, est un phénomène couramment observé. L'hypothèse la plus probable est donc celle de la perte des os dermiques dans la lignée des Chondrichthyens.

La description des os de la tête d'*Entelognathus primordialis* et son analyse dans un cadre phylogénétique ont ainsi conduit non seulement à abandonner l'ancien taxon des « Placodermes » pour cause de paraphylie, mais également à réviser le scénario évolutif admis jusqu'alors. L'organisation anatomique de la tête des Chondrichthyens ne constitue pas un « intermédiaire ébauché » vers les Osteichthyens. À l'inverse, l'ancêtre des Gnathostomes possédait de multiples os dermiques dans sa mâchoire et les Chondrichthyens ont une organisation secondairement simplifiée de leur crâne. En d'autres termes, l'organisation dérivée et des mâchoires des Chondrichthyens actuels est un caractère dérivé propre à ce groupe. À l'opposé, les Osteichthyens, dont l'espèce humaine, sont conservés l'état ancestral de la mâchoire.

Figure 1 l'évolution des os de la tête et de la mâchoire chez les Vertébrés

120

www

**Les bonus web sur Dunod.com**

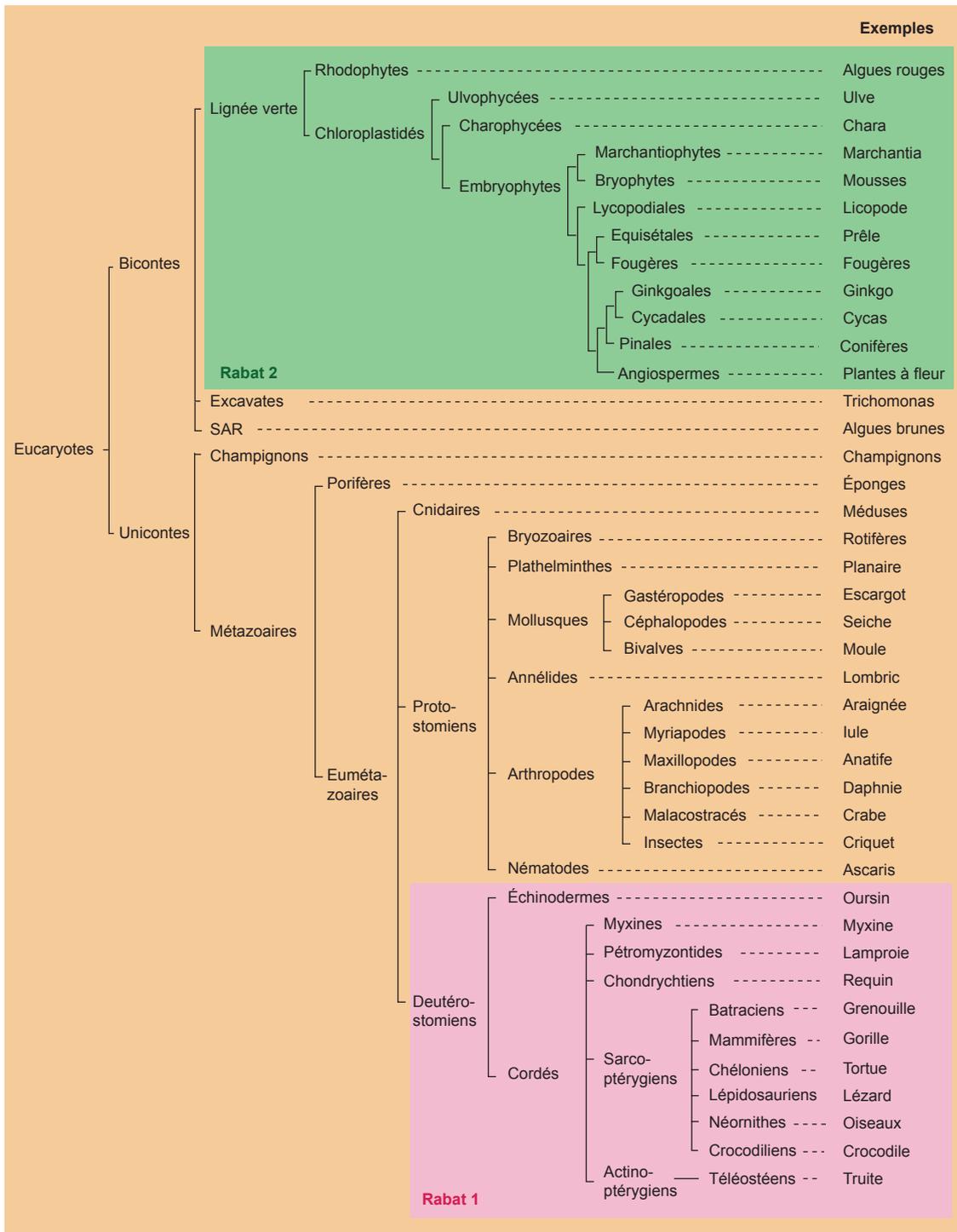
- ▶ 10 sujets de synthèse avec leurs corrigés
- ▶ Des animations de processus dynamiques
- ▶ Des QCM corrigés supplémentaires
- ▶ Des compléments de cours

# Abréviations

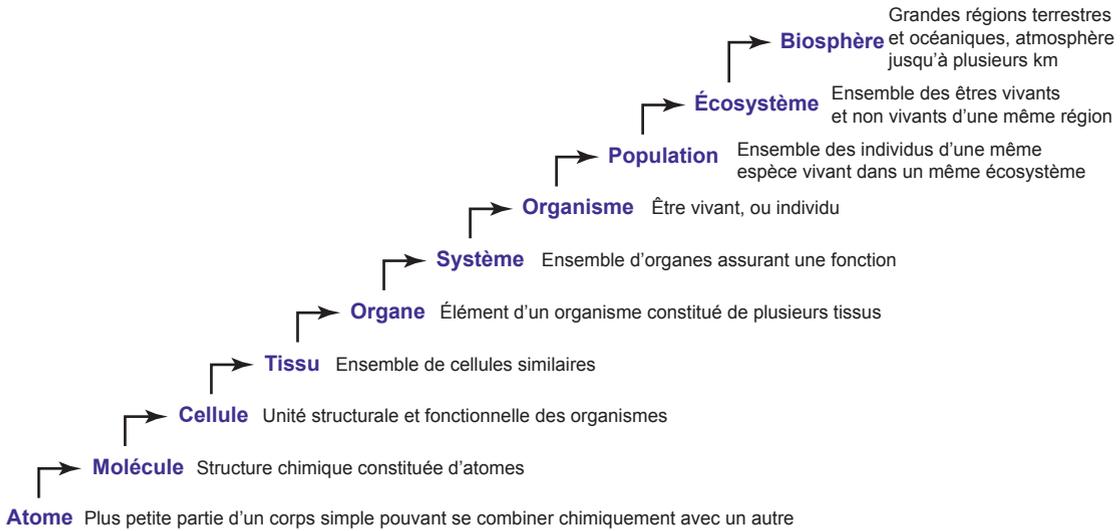
5HT	5 hydroxytryptamine, sérotonine	CAM	<i>Crassulacean Acid Metabolism</i>	FMN	<i>Flavine MonoNucleotide</i>
A	Adénine	CAP	<i>Catabolism Activating Protein</i>	FNR	<i>Ferredoxine NADP-Reductase</i>
AAP	<i>Actin Associated Protein</i>	Cas	<i>CRISPR associated</i>	FSH	<i>Folliculo Stimulating Hormone</i>
ABA	<i>Abscissic Acid</i>	CASPASE	<i>Cysteine Aspartate Specific Protease</i>	G	Guanine
ABP	<i>Auxine Binding Protein</i>	CBG	<i>Corticosteroid Binding Globulin, Transcortine</i>	GA	<i>Gibberellic Acid</i>
AC	Adenylyl cyclase	CCK	<i>CholécystoKinine</i>	GABA	<i>Gamma Amino-Butyric Acid</i>
ACC	<i>Acetyl-CoA Carboxylase</i>	Cdc6	<i>Cell division cycle 6</i>	GALT	<i>Gut Associated Lymphoid Tissue</i>
ACh	Acétylcholine	Cdk	<i>Cyclin dependant kinase</i>	GAP	<i>GTase Activating Protein</i>
AchE	Acétylcholine Esterase	CdkI	<i>Cyclin dependant kinase Inhibitor</i>	GBP	<i>GSK Binding Protein</i>
ACTH	<i>Adrenal CorticoTrophin Hormone, Corticotrophine</i>	CDS	<i>Cytosolic DNA Sensor</i>	GDH	<i>Glutamate DesHydrogenase</i>
ADCC	<i>Antibody-Dependent Cell-mediated Cytotoxicity</i>	Cdt1	<i>Cdc10 dependent transcript 1</i>	GDI	<i>Guanine nucleotide Dissociation Inhibitor</i>
ADH	<i>AntiDiuretic Hormone</i>	CK	<i>CytoKinine</i>	GDNF	<i>Glial-Derivated Nerve growth Factor</i>
ADN (DNA)	Acide désoxyribonucléique, <i>Desoxyribo Nucleic Acid</i>	CLR	<i>C-Lectin type Receptor</i>	GDP	<i>Guanosine DiPhosphate</i>
ADP	Adénosine DiPhosphate	CMH	<i>Complexe Majeur d'Histocompatibilité</i>	GEF	<i>Guanine nucleotide Exchange Factor</i>
ADPRc	<i>ADP Ribose cyclique</i>	COMT	<i>Catéchol-O-Méthyl-Transférase</i>	GFAP	<i>Glial Fibrillary Acidic Protein</i>
AER	<i>Apical Ectodermal Ridge</i>	COP	<i>COat Protein</i>	GH	<i>Growth Hormone</i>
AGMI	Acide Gras Mono-Insaturé	CPA	<i>Cellule Présentatrice de l'Antigène</i>	GHIH	<i>Growth Hormone Inhibiting Hormone, Somatostatine</i>
AGPI	Acide Gras Poly-Insaturé	CPE	<i>Cytoplasmic Polyadenylation Element</i>	GHRH	<i>Growth Hormone Releasing Hormone, Somatocrinine</i>
AGS	Acides Gras Saturé	CPEB	<i>CPE Binding protein</i>	Glu	Glutamate
AHKs	<i>Arabidopsis hybrid Histidine protein Kinases</i>	CPG	<i>Central Pattern Generator</i>	GluT	<i>Glucose Transporter</i>
AIA	<i>Acide Indol-3 Acétique</i>	CR	<i>Complement Receptor</i>	GMPc	<i>Guanosine MonoPhosphate cyclique</i>
AIF	<i>Apoptosis-Inducing Factor</i>	CRH	<i>Corticotropin Realising Hormone, Corticolibérine</i>	GnRH	<i>Gonadotropine Releasing Hormone, Gonadolibérine</i>
AMF	<i>Anti Mulerian Factor</i>	CRISPR	<i>Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats</i>	GNRP	<i>Guanine Nucleotide Releasing Protein</i>
AMPA	<i>2-Amino-3-(5-Méthyl-3-hydroxy-1,2-oxazol-4-yl) Propanoïque Acide</i>	DA	<i>DopAmine</i>	GOGAT	<i>Glutamine Oxo-Glutarate AminoTransferase</i>
AMPc	Adénosine Monophosphate Cyclique	DAG	<i>Di-Acyl Glycérol</i>	GS	<i>Glutamine Synthetase</i>
ANF	<i>Atrial Natriuretic Factor</i>	DAMP	<i>Danger Associated Molecular Pattern</i>	GSK	<i>Glycogen Synthetase Kinase</i>
AP	Adaptine	dB	Décibel	GTP	<i>Guanosine TriPhosphate</i>
Apaf	<i>Apoptotic protease-activating factor</i>	DBD	<i>DNA Binding Domain</i>	Hb	Hémoglobine
APC	<i>Anaphase Promoting Complex</i>	DBO	<i>Demande Biochimique en diOxygène</i>	hCG	<i>Human Chorionic Gonadotropin</i>
ARF	Afférents du Réflexe de Flexion	DC	<i>Dendritic Cell</i>	HLA	<i>Human Leucocyte Antigen</i>
ARN (RNA)	Acide ribonucléique, <i>RiboNucleic Acid</i>	DCO	<i>Demande Chimique en diOxygène</i>	HR	<i>Hypersensitive Response</i>
ARNi	ARN interférent	DDCP	<i>DNA Damage CheckPoint</i>	HRE	<i>Hormone Response Element</i>
ARNm	ARN messenger	ddp	<i>Différence de potentiel</i>	HRGP	<i>Hydroxyproline Rich GlycoProtein</i>
ARNmi	micro-ARN	DHPR	<i>DiHydroPyridines Receptor</i>	Hsp	<i>Heat shock protein</i>
ARNsi	<i>small interfering ARN</i>	Diablo	<i>Direct IAP binding protein with low pl</i>	HTRA2	<i>High Temperature Regulated protein A2</i>
ARNt	ARN de transfert	DIP	<i>Disulfure Isomerase Protein</i>	Hz	Hertz
ARS	<i>Autonomously Replicating Sequence</i>	DIT	<i>Di-IodoTyrosine</i>	IBGN	<i>Indice BioGénéral Normalisé</i>
AS	Acide Salicylique	DSCF	<i>Doppler-Shifted Constant Frequencies</i>	ICAM	<i>Inter Cellular Adhesion Molecule</i>
AS	<i>Asparagine Synthetase</i>	ECG	<i>ÉlectroCardioGramme</i>	ICD	<i>Immunogenic Cell Death</i>
ASC	<i>Amiloride sensitive Sodium Channel</i>	ERF	<i>Endothelium Relaxing Factor</i>	Ig	<i>Immunoglobline</i>
ASIC	<i>Acid Sensitive Ionic Channel</i>	ETR	<i>ETHylene Receptor</i>	IL	<i>InterLeukine</i>
ATP	Adénosine TriPhosphate	FAD	<i>Flavine Adenine Dinucléotide</i>	ILC	<i>Innate Lymphoid Cell</i>
BCR	<i>B Cell Receptor</i>	FcR	<i>Fc Receptor</i>	ILT	<i>Ig-Like Transcripts</i>
BDNF	<i>Brain Derivated Nerve growth Factor</i>	FDC	<i>Follicular Dendritic Cell</i>	INF	<i>Interféron</i>
BER	<i>Base Excision Repair</i>	FGF	<i>Fibroblastic Growth Factor</i>	IP <sub>3</sub>	<i>Inositol tri-Phosphate</i>
BP	<i>Binding Protein</i>	FISH	<i>Fluorescence In Situ Hybridization</i>	IPC	<i>Interferon Producing Cell</i>
C	Cytosine				
CAK	<i>Cdk Activating Kinase</i>				
CAM	<i>Cell Adhesion Molecule</i>				

IPEX	<i>Immunodysregulation Polyendocrinopathy Enteropathy X-linked syndrome</i>	NRT	Noyau Réticulaire Thermosensible	RXR	<i>Retinoid X Receptor</i>
IPP	Iso Pentenyl Pyrophosphate	NSF	<i>N-ethylmaleimide Sensitive Factor</i>	RyR	<i>Ryanodine Receptor</i>
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique	NTS	Noyau du Tractus Solitaire	SAR	<i>Systemic Acquired Resistance</i>
ISR	<i>Induced Systemic Resistance</i>	OAS	<i>Oligo-Adenylate Synthetase</i>	SC	Stimulus Conditionnel
ITAM	<i>Immunoreceptor Tyrosine-based Activating Motif</i>	OEC	<i>Oxygen Evolving Complex</i>	SCID	<i>Severe Combined ImmunoDeficiency</i>
ITIM	<i>Immunoreceptor Tyrosine-based Inhibition Motif</i>	ORC	<i>Origin Recognition Complex</i>	SDS	<i>Sodium Dodecyl Sulfate</i>
JH	<i>Juvenile Hormone</i>	P2X	Récepteur purinergique	SGLT	<i>Sodium Glucose Linked Transporter</i>
KIR	<i>Killer cells Ig-like Receptors</i>	PABPI	<i>Poly A Binding Protein I</i>	SI	Stimulus Inconditionnel
LAR	<i>Local Acquired Resistance</i>	PAF	<i>Platelet Activating Factor</i>	SIDA	Syndrome de l'Immuno-Déficience Acquise
LDB	<i>Ligand Binding Domain</i>	PAL	<i>Phenylalanine Ammonia Lyase</i>	SNA	Système Nerveux Autonome
LDL	<i>Low Density Lipoprotein</i>	PAM	<i>Protospacer Adjacent Motif</i>	SNAP	<i>Soluble NSF Attachment Protein</i>
LFA	<i>Leucocyte Function Antigene</i>	PAMP	<i>Pathogen Associated Molecular Pattern</i>	SNAP25	<i>Synaptosomal Association Protein of 25 kDa</i>
LH	<i>Luteinising Hormone</i>	PCNA	<i>Proliferating Cell Nuclear Antigen</i>	SNARE	<i>SNAP Receptor</i>
LHC	<i>Light Harvesting Complex</i>	PCR	<i>Polymerase Chain Reaction</i>	SNC	Système Nerveux Central
LIR	<i>Leucocyte Ig-like Receptor</i>	PDE	PhosphoDiEstérase	SnNRP	<i>Small Nuclear RibonucleoProtein</i>
LOV	<i>Light Oxygen Voltage</i>	PEP	PhosphoEnol Pyruvate	SNV	Système NeuroVégétatif
LPS	LipoPolySaccharide	PEPc	<i>PhosphoEnol Pyruvate carboxylase</i>	SP	Substance P
LTA	<i>Lipoteichoic Acid</i>	PET	<i>Positrons Emission Tomography</i>	SPL	<i>Sound Pressure Level</i>
LTR	<i>Long Terminal Repeat</i>	PI	<i>Phosphatidyl-Inositol</i>	SRP	<i>Signal Recognition Protein</i>
LTTD	<i>Lateral Trigeminal Tract Down</i>	PIF	<i>Phytochrome Interaction Factor</i>	SSB	<i>Single Strand Binding protein</i>
LUCA	<i>Last Universal Common Ancestor</i>	PIH	<i>Prolactine Inhibitory Hormone</i>	T	Thymine
MALT	<i>Mucosa-Associated Lymphoid Tissue</i>	PKA	Protéine Kinase AMPc-dépendante	T3	Tri-iodothyronine
MAO	MonoAmines Oxydase	PKC	PhosphoKinase C	T4	Tétra-iodothyronine – thyroxine
MAMP	<i>Microbial Associated Molecular Pattern</i>	PKR	<i>Protein Kinase R</i>	TAF	<i>TBP Associated Factor</i>
MAP	<i>Microtubule Associated Protein</i>	PLC	PhosphoLipase C	TAP	<i>Transporter associated with Antigen Processing</i>
MAPK	<i>MAP Kinase</i>	PLT	Potentialisation à Long Terme	TBP	<i>TATA box Binding Protein</i>
MASP	<i>MBP ASSociated Protein</i>	PP	Pyrophosphate	TCR	<i>T Cell Receptor</i>
MBL	<i>Mannose Binding Lectin</i>	Ppi	<i>Pyrophosphate ion</i>	TF	<i>Transcription factor</i>
MBP	<i>Mannose Binding Protein</i>	PPSE	Potentiel Post Synaptique Excitateur	TGF	<i>Transformation Growth Factor</i>
Mcm	<i>Minichromosome maintenance</i>	PPSI	Potentiel Post Synaptique Inhibiteur	TGN	<i>Trans Golgian Nertwork</i>
MCP	<i>Mitotic CheckPoint</i>	PR	<i>Pathogenesis Related Hormone</i>	Th	<i>Lymphocyte T helper</i>
MDSC	<i>Myeloid Derived Suppressive Cell</i>	PRH	<i>Prolactine Releasing Hormone</i>	TIM	<i>Translocase of the Inner Membrane</i>
MEC	Matrice ExtraCellulaire	PrP	<i>Prion Protein</i>	TK	TachyKinines
MIT	Mono-IodoTyrosine	PRR	<i>Pattern Recognition Receptor</i>	TK	Thimidine Kinase
MPF	<i>Mitotic Promoting Factor</i>	PS	PhotoSystème	TLR	<i>Toll Like Receptor</i>
MPO	MyéloPerOxydase	PTH	<i>ParaThyroid Hormone - Parathormone</i>	TMAO	<i>TriMethylAmine Oxyde</i>
MTOC	<i>MicroTubule Organizing Center</i>	PZ	<i>Progress Zone</i>	TNF	<i>Tumor Necrosis Factor</i>
NA	Nord Adrénaline	RCP	<i>Replication CheckPoint</i>	TOM	<i>Translocase of the Outer Membrane</i>
NAD	<i>Nicotinamide Adenine Dinucleotide</i>	RE	<i>Response Element</i>	tracr RNA	<i>transacting small RNA</i>
NADP	<i>Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate</i>	RE-BP	<i>Response Element – Binding Protein</i>	TRH	<i>Thyrotropin Releasing Hormone, Thyréolibérine</i>
NCR	<i>Natural Cytotoxicity Receptors</i>	RER (REG)	<i>Rough Endoplasmic Reticulum, Réticulum Endoplasmique Granuleux</i>	TRP	<i>Transient Receptor Potential</i>
NER	<i>Nucleotides Excision Repair</i>	RF	<i>Releasing Factor</i>	TSH	<i>Thyroid Stimulating Hormone, Thyréotrophine</i>
NGF	<i>Nerve Growth Factor</i>	RFc	<i>Fc Receptor</i>	Tus	<i>Terminus utilisation substance</i>
NiR	<i>Nitrite Reductase</i>	RF-c	<i>Replicating Factor C</i>	UCP	<i>UnCoupled Protein</i>
NK	<i>Natural Killer</i>	RISC	<i>RNA Induced Silencing Complex</i>	UDP	<i>Uridine DiPhosphate</i>
NKR	<i>NK cells Receptors</i>	RLH	<i>Rig-1-Like Helicase</i>	UTP	<i>Uridine TriPhosphate</i>
NKT	<i>Natural Killer T cell</i>	ROI	<i>Reactive Oxygen Intermediates</i>	UTR	<i>UnTranslated Region</i>
NLR	<i>NOD-Like Receptor</i>	RPA	<i>Replicating Protein A</i>	VAMP	<i>Vesicle Associated Membrane Protein</i>
NMDA	N-Méthyl-D-Aspartate	RubisCO	<i>Ribulose 1,5 bisphosphate Carboxylase/Oxygénase</i>	VLDL	<i>Very Low Density Lipoprotein</i>
NO	<i>Nitric Oxyde, monoxyde d'azote</i>			XP	<i>Xeroderma Pigmentosus</i>
NPC	<i>Nuclear Pore Complex</i>			XTH	<i>Xyloglucane</i>
NR	<i>Nitrate reductase</i>			YAC	<i>Transglycosylases Hydrolases</i>
				ZO	<i>Yeast Artificial Chromosome Zonula Occludens</i>

## Arbre phylogénétique des Eucaryotes

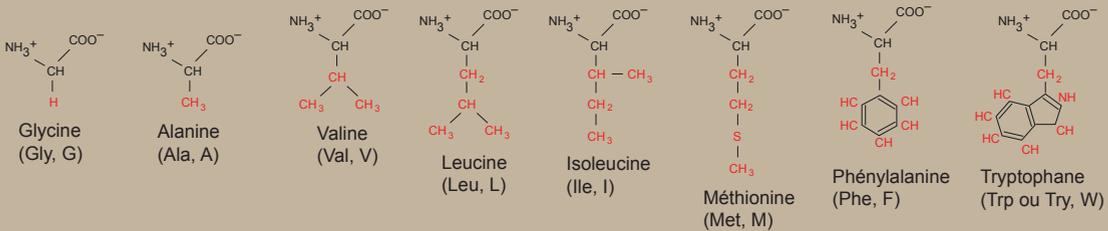


## Principaux niveaux de l'organisation biologique

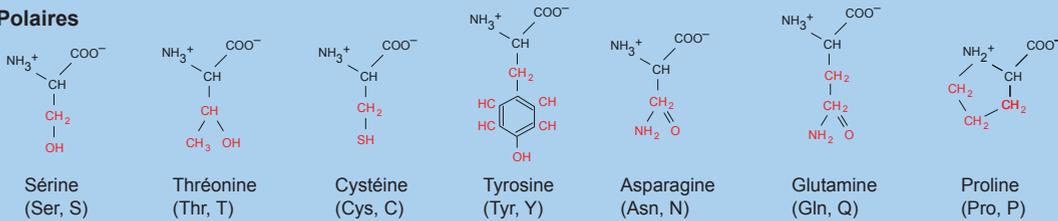


## Les 20 acides aminés

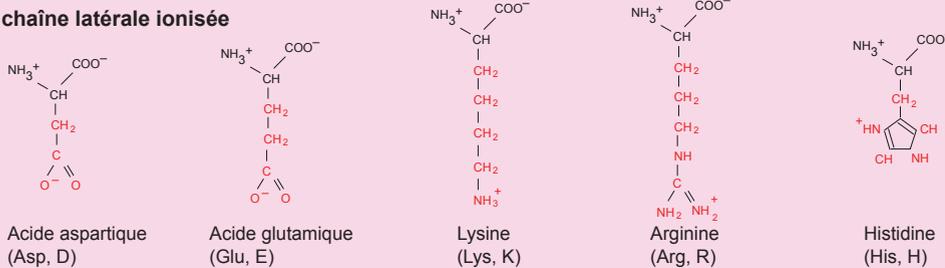
### Non polaires



### Polaires



### À chaîne latérale ionisée



# Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement plusieurs collègues ou autres personnes de notre entourage qui, à divers titres, nous ont permis de réaliser cet ouvrage :

- Annie Balay, ancienne Professeur de lycées et collèges
- Michèle Balay, Technicienne, Hôpital Bécclère
- François Bouteau, Maître de conférences, Université Paris-Diderot
- Didier Casane, Professeur d'Université, Université Paris-Diderot
- Vincent Chassany, PRAG – Université Paris-Diderot
- Marie Conrath, Directeur de recherches CNRS, Paris
- Mélanie Debiais-Thibaud, Maître de conférences, Université des Sciences et Techniques du Languedoc
- Jean-Louis Desmaison, ancien Chef d'établissement, Béziers
- Dimitri Garcia, PRAG – Université de Nice
- Nicole Gas, ancien Professeur d'Université, Toulouse
- Monique Gauthier, Professeur d'Université, Toulouse
- Claude Gérin, Professeur des lycées professionnels, Bobigny, ancienne ATER, Centre d'Océanologie de Marseille
- Yves Gioanni, Maître de conférences d'Université, Paris
- Michel Lambin, ancien Maître de conférences d'Université, Toulouse
- Jean-Pierre Levistre, Inspecteur Pédagogique Régional, Créteil
- Samuel Liégeois, Maître de conférences, Université de Strasbourg
- Annie Mamecier, ancienne Inspectrice Générale, Paris
- Alice Michel-Salzat, Maître de conférences, Université Paris-Diderot
- Catherine Mouneyrac, Professeur d'Université, Angers
- Romain Nattier, Enseignant chercheur MNHN Paris
- Denis Rebout, Professeur second degré, conseiller MEN, Paris
- Gaëlle Richard, Assistante de collection, Université Rennes I
- Ghislaine Richard, Maître de conférences d'Université, Toulouse
- Jean-Pierre Richard, ancien Ingénieur de recherche, Rennes
- Mélanie Richard, Ingénieur INIST, Paris
- Arnould Savouré, Professeur d'Université, Paris
- Philippe Valet, Professeur d'Université, Toulouse

PARTIE

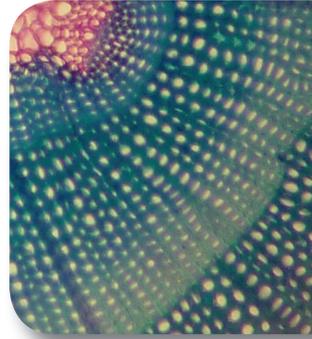
1

# L'organisation des systèmes biologiques



# Chapitre 1

# L'organisation des cellules eucaryotes et procaryotes et des virus



## Plan

- |                 |   |                 |  |
|-----------------|---|-----------------|--|
| <b>Fiche 1</b>  | L'unité du vivant                                 | <b>Fiche 13</b> | Pompe $\text{Na}^+/\text{K}^+$ et potentiel de repos |
| <b>Fiche 2</b>  | Les trois domaines du vivant                      | <b>Fiche 14</b> | Membranes et compartimentation intracellulaire       |
| <b>Fiche 3</b>  | Les constituants chimiques fondamentaux du vivant | <b>Fiche 15</b> | Les molécules du cytosquelette                       |
| <b>Fiche 4</b>  | Les macromolécules                                | <b>Fiche 16</b> | Fonctions du cytosquelette des Eucaryotes            |
| <b>Fiche 5</b>  | La cellule eucaryote                              | <b>Fiche 17</b> | Les mitochondries                                    |
| <b>Fiche 6</b>  | La cellule des Embryophytes                       | <b>Fiche 18</b> | Les plastes  |
| <b>Fiche 7</b>  | La cellule bactérienne                            | <b>Fiche 19</b> | Le noyau des cellules eucaryotes                     |
| <b>Fiche 8</b>  | La cellule des Archées                            | <b>Fiche 20</b> | L'adressage des protéines chez les Eucaryotes        |
| <b>Fiche 9</b>  | Les virus   |                 |  |
| <b>Fiche 10</b> | La membrane plasmique                             |                 |  |
| <b>Fiche 11</b> | Les échanges transmembranaires                    |                 |  |
| <b>Fiche 12</b> | Membrane plasmique et gradient électrochimique    |                 |  |

## Les bonus web sur Dunod.com

- Testez vos connaissances sur ce chapitre avec le quiz en ligne corrigé et commenté !
- Retrouvez les documents complémentaires signalés par  dans les fiches.

Les êtres vivants possèdent différentes particularités les distinguant des structures dynamiques non vivantes (minérales ou organiques). Ils sont capables de maintenir leur composition, de croître et de se reproduire, de manière active et autonome, en prélevant dans le milieu les ressources qui leur sont nécessaires. Ces activités autonomes sont rendues possibles par l'organisation des êtres vivants en une ou plusieurs cellules qui isolent un milieu interne dans lequel l'ordre et la complexité moléculaire peuvent s'accroître grâce à la consommation d'énergie, couplée à un dégagement d'énergie thermique dans le milieu extérieur.

## 1. Les organismes vivants sont constitués de cellules

### ■ La cellule, unité de base du vivant



Fiche  
5

Tous les êtres vivants ont une organisation cellulaire (figure 1). La cellule est à la fois l'unité de base du vivant et la plus petite « brique » de vie. Ainsi, un organisme vivant peut être constitué d'un assemblage de cellules ou d'une cellule unique, mais aucun des constituants d'une cellule, pris isolément, ne peut être considéré comme vivant. Notons que cette définition cellulaire du vivant exclut de fait les virus qui apparaissent plutôt comme une forme particulière d'éléments génétiques mobiles qui entraînent un brassage génétique au sein d'une espèce ou entre espèces différentes. Certains auteurs les considèrent néanmoins comme des éléments vivants.

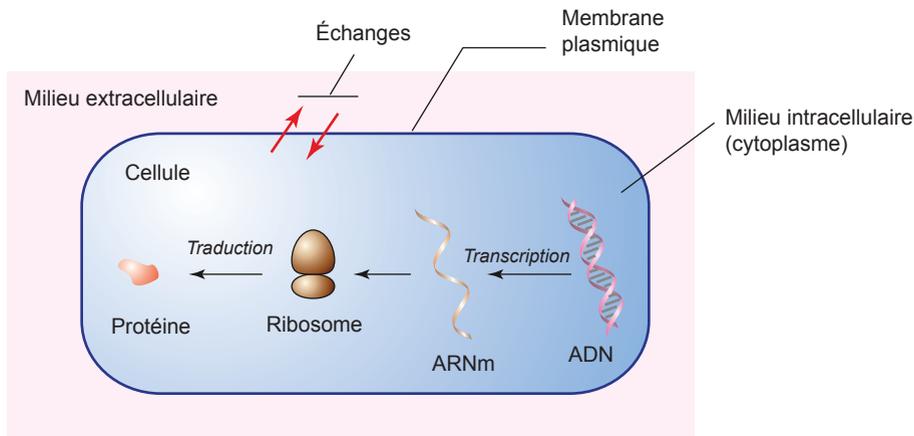


Figure 1 Organisation simplifiée d'une cellule

### ■ La membrane plasmique délimite le milieu intracellulaire du milieu extracellulaire



Fiche  
10

Chaque cellule est limitée par une membrane plasmique, composée d'une bicouche fluide de lipides à laquelle sont associées des protéines et des chaînes glucidiques. Cette membrane plasmique constitue une barrière fonctionnelle permettant d'isoler le milieu intracellulaire, ou cytoplasme, du milieu extracellulaire.



Fiche  
53

## 2. Le code génétique est unique



Fiches  
64, 65

Les cellules stockent leur information génétique sous forme d'ADN (Acide DésoxyriboNucléique), macromolécule formée d'un enchaînement spécifique de quatre nucléotides formés de quatre bases azotées différentes : thymine, cytosine, adénine, guanine (T, C, A, G). Cette molécule d'ADN est répliquée et transmise aux cellules filles lors du cycle cellulaire.

Lors de l'expression génétique, l'information est transcrite en ARN messagers (Acide RiboNucléique messenger), ARN de transfert, ARN ribosomique et autres types d'ARN. L'information contenue dans l'ARNm est ensuite traduite au niveau des ribosomes, où les triplets de bases (ou codons) sont décodés en acides aminés dont l'enchaînement forme alors les protéines.

Le code génétique, qui fait correspondre de façon spécifique les codons aux 20 acides aminés courants, est un code redondant. En effet, la combinaison de trois bases parmi quatre permettrait, en théorie, 64 possibilités alors que celles-ci ne codent que 20 acides aminés du fait de l'existence de nombreux codons synonymes. Il est frappant de constater que tous les organismes vivants actuels partagent le même code génétique et la même redondance du code.

Fiche  
56

### 3. Les médiateurs métaboliques des êtres vivants sont identiques

Les cellules produisent de l'énergie par des processus d'oxydation de la matière organique, notamment des oses (glucose, galactose, etc.). À l'opposé, elles consomment de l'énergie pour l'ensemble de leurs fonctions biologiques. L'ensemble de ces réactions met en jeu des enzymes et constitue le métabolisme cellulaire.

La production d'énergie, ou catabolisme énergétique, se fait soit par fermentation, soit par respiration. La fermentation se réalise en condition anaérobie (sans dioxygène), tandis que la respiration est un processus métabolique mettant en jeu une chaîne de transporteurs d'électrons qui se réalise en conditions aérobies (l'accepteur final est le dioxygène) ou en conditions anaérobies lorsque l'accepteur final d'électrons est différent du dioxygène.

À l'inverse, l'anabolisme correspond à l'ensemble des voies métaboliques qui permettent de synthétiser des molécules complexes comme les protéines et les polysides. Ce mécanisme nécessite de l'énergie.

Fiche  
243

### 4. Les êtres vivants ont la capacité de se reproduire

La reproduction des organismes vivants peut se dérouler selon des processus asexués ou sexués.

Lors de la reproduction asexuée, chaque cellule mère génère deux cellules filles par la mise en jeu de la mitose. Cette simple division cellulaire permet d'obtenir une descendance identique aux parents, aux mutations près (erreurs de réplication non corrigées, recombinaisons mitotiques, anomalies chromosomiques, etc.). Il y a alors clonage.

À l'opposé, la reproduction sexuée est caractérisée par la formation de gamètes mâles, les spermatozoïdes et de gamètes femelles, les ovocytes et ovules (oosphères chez les Plasmodesmophytes).

Les gamètes présentent des combinaisons génétiques originales car la méiose assure un brassage à la fois intra-chromosomique et inter-chromosomique des allèles parentaux. Ensuite, lors de la fécondation, il y a association au hasard des différents allèles parentaux au sein d'un individu qui est alors un être génétiquement original.

Fiche  
101

### 5. Le fonctionnement des êtres vivants met en jeu des boucles de régulation

Afin d'assurer leur fonctionnement, les systèmes vivants doivent s'adapter en permanence aux variations des paramètres du système considéré. Ce maintien dynamique d'une certaine « homéostasie » met en jeu des boucles de régulation avec des points de consigne ajustés en fonction des conditions du milieu, ceci aux différentes échelles allant de la molécule à l'écosystème.

À titre d'exemple :

- régénération de l'ATP par les voies du catabolisme en fonction de l'intensité de l'anabolisme ;
- régulation de la glycémie plasmatique chez l'Homme ;
- régulation des taux moyens de consommateurs secondaires et tertiaires dans un écosystème.

Ce mode de rétrocontrôle constitue une boucle de régulation, ou « *feed-back* » négatif, dans laquelle la variable régulée est à la fois le point de départ et le point d'aboutissement de la boucle.

Les techniques moléculaires permettent de regrouper tous les organismes vivants identifiés à ce jour en trois grands domaines : les Eucaryotes ou *Eukaryota* (organismes uni- ou pluricellulaires dont les cellules comportent un noyau), les Archées ou *Archaea*, et les Bactéries ou *Bacteria* qui présentent tous deux une structure procaryote, c'est-à-dire dépourvue de noyau.

### 1. Les Bactéries représentent la majorité des procaryotes

Les Bactéries forment un groupe qui comprend la majorité des organismes à structure procaryote identifiés à ce jour (environ 17 000 espèces). En addition à la membrane plasmique, les Bactéries présentent (sauf cas de perte secondaire) une paroi de peptidoglycanes contenant de l'acide muramique.

Par ailleurs, chez les Bactéries, la traduction est initiée par une N-formyl méthionine tandis qu'elle est initiée par une méthionine chez tous les autres organismes vivants.

### 2. Les Archées, autres procaryotes, se distinguent par leur membrane plasmique

Longtemps confondues avec les Bactéries avec qui elles partagent une structure procaryote, les Archées forment un groupe qui se distingue par une particularité de leur membrane plasmique. Les chaînes isoprènes de cette membrane ne sont en effet pas liées par une liaison ester au squelette de glycérol comme chez tous les autres organismes vivants, mais par des liaisons éther (figure 1). Chez certaines espèces, les acides gras forment des groupements tétra-éther qui rigidifient la membrane plasmique. La plupart des 352 espèces d'Archées identifiées à ce jour l'ont été dans des milieux de vie extrêmes (sources hydrothermales, rumen des ruminants, milieux à forte teneur en sels, etc.) mais de plus en plus d'espèces sont identifiées dans des milieux plus standards.

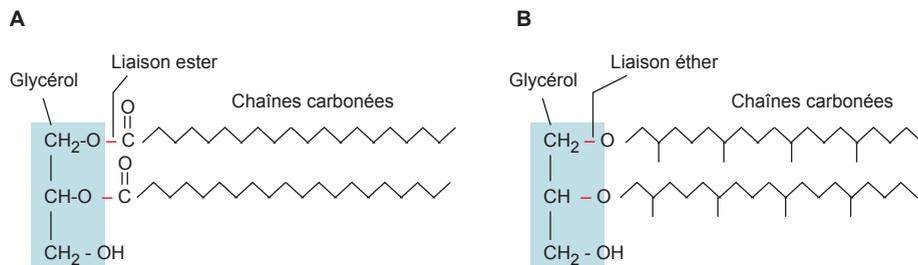


Figure 1 Les lipides membranaires

A : chez les Bactéries et les Eucaryotes ; B : chez les Archées

### 3. Les Eucaryotes possèdent un noyau renfermant le matériel génétique

Les Eucaryotes sont des organismes vivants, unicellulaires ou pluricellulaires, dont le matériel génétique est contenu dans le noyau, organe délimité par une double membrane biologique : l'enveloppe nucléaire. Les Eucaryotes se distinguent également des autres organismes vivants par la présence d'un cytosquelette composé de filaments d'actine et de microtubules (polymères de tubuline). En effet, le cytosquelette des Bactéries est constitué de filaments protéiques (protéine MreB proche de l'actine), mais ne comprend pas de microtubules.

Par ailleurs, la division cellulaire se fait par mitose (et non par scissiparité comme chez les Archées et les Bactéries), ce qui implique des centrioles (ou leur équivalent chez certaines espèces de la Lignée verte) et un fuseau mitotique microtubulaire.

Outre le noyau, les Eucaryotes présentent un réseau membranaire interne formant divers compartiments intracellulaires (réticulum, appareil de Golgi, etc.).

De plus, les cellules eucaryotes contiennent des organites intracellulaires, les mitochondries, qui assurent la respiration cellulaire et proviennent d'une symbiose ancienne avec une Protéobactérie (Bactérie). Certains Eucaryotes contiennent en outre des chloroplastes, organites issus directement ou indirectement d'une symbiose ancienne avec une Cyanobactérie (groupe d'Bactéries photosynthétiques).

Les flagelles, lorsqu'ils sont présents, présentent une structure caractéristique de 9 doublets ou triplets de microtubules entourant deux microtubules centraux.

Enfin, les Eucaryotes présentent une véritable sexualité pour laquelle chaque type sexuel contribue à égalité au patrimoine génétique de la cellule fille. Contrairement aux organismes à structure procaryote qui ne présentent que des échanges génétiques partiels entre cellules, les Eucaryotes sont capables de produire des gamètes par méiose, processus au cours duquel les chromosomes d'origines paternelle et maternelle sont recombinaés, brassés et séparés en deux lots qui contribuent chacun pour moitié au génome des cellules descendantes issues de la fécondation.

#### 4. L'origine des organismes vivants

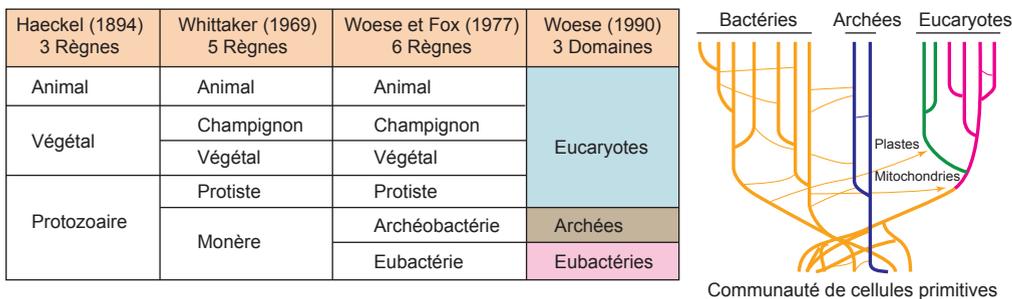
Le nombre et l'importance des similitudes au sein des organismes vivants excluent que ces caractéristiques soient apparues indépendamment au cours de l'évolution et soutiennent l'existence d'une ascendance commune aux trois domaines du vivant.

De ce fait, il a longtemps été considéré que tous les organismes vivants avaient un ancêtre commun qui fut alors nommé LUCA (*Last Universal Common Ancestor*). Notons que LUCA n'était pas supposé avoir été la seule forme de vie à son époque, mais la seule forme de vie à avoir donné une descendance jusqu'à nos jours.

L'utilisation récente du séquençage d'ADN à haut débit a révélé une diversité jusqu'ici insoupçonnée des Bactéries et des Archées. Elle a également permis de montrer que ces organismes ont précédé les Eucaryotes d'environ 1 milliard d'années, et que ces derniers sont issus de l'endosymbiose d'une bactérie avec une cellule proche des Archées.

Par ailleurs, il apparaît que de nombreux gènes sont capables d'être transférés d'une cellule à l'autre de la même espèce ou d'espèces différentes. Ces gènes, qualifiés de gènes sauteurs, permettent des transferts de gènes entre espèces, ou transferts « horizontaux ».

Ainsi, l'origine des espèces actuelles semble être plutôt de type « buissonnant » que provenant d'une cellule ancestrale unique (figure 2).



**Figure 2** Historique de la classification du vivant et représentation actuelle de l'arbre évolutif

## Les constituants chimiques fondamentaux du vivant

La matière est constituée d'atomes, eux-mêmes formés d'un noyau composé de protons et de neutrons et entouré d'un nuage d'électrons. Parmi les éléments chimiques connus, seuls 11 sont présents chez les êtres vivants. Les propriétés de ces éléments sont à l'origine des caractéristiques du monde vivant.

### 1. Les atomes du vivant s'associent pour former des molécules biologiques

Les quatre éléments les mieux représentés dans les organismes vivants sont l'azote, l'oxygène, le carbone et l'hydrogène (environ 97 % de la masse corporelle de l'Homme).

Suite aux mouvements électroniques, lorsque deux atomes sont suffisamment proches et dans certaines conditions de différence de potentiel d'oxydoréduction, un électron d'un atome peut passer sur l'autre atome. La perte d'électron de l'un correspond à une oxydation tandis que le gain pour l'autre est une réduction.

Par ailleurs, la mise en commun d'électrons appartenant à des atomes différents permet la constitution de molécules. Selon leur nature, ces liaisons sont plus ou moins fortes. Ainsi, les liaisons covalentes correspondant au partage de paires d'électrons entre atomes sont des liaisons fortes (100 à 800 kJ·mol<sup>-1</sup>), par opposition aux liaisons hydrogène (5 à 40 kJ·mol<sup>-1</sup>) ou aux liaisons de Van der Waals (1 à 10 kJ·mol<sup>-1</sup>), qualifiées de liaisons faibles. La stabilité des molécules dépend du nombre de liaisons mises en jeu.

### 2. L'eau, molécule de la vie

Les propriétés chimiques de l'eau ont permis la naissance et le développement de la vie.

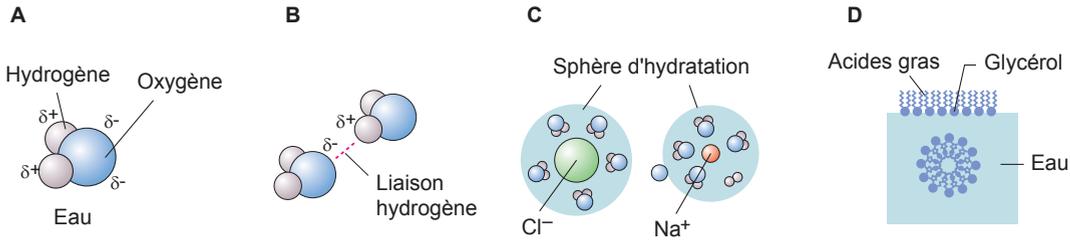
L'eau (H<sub>2</sub>O) est formée d'un atome d'oxygène lié à deux atomes d'hydrogène par des liaisons covalentes (figure 1A). Cette molécule est stable, ne porte pas de charge électrique nette et est capable de former des liaisons chimiques faibles avec différents composés.

Les principales propriétés de l'eau expliquant son importance biologique sont liées à la polarité de sa molécule, c'est-à-dire au fait qu'elle se comporte comme un dipôle électrique ( $\delta^+$  et  $\delta^-$ ) réparti de façon asymétrique. Les conséquences se résument ainsi :

- Les liaisons hydrogène entre les molécules d'eau assurent une cohésion du réseau qui est qualifié de pseudocristallin en phase liquide (figure 1B). Cette cohésion est importante pour les liquides circulants comme le sang et les sèves ainsi que dans les phénomènes de tension superficielle.
- Les liaisons hydrogène avec les autres molécules dites hydrophiles (acides aminés, oses, etc.) déterminent leur solubilité lors de la mise en place d'une sphère d'hydratation ou de solvatation. L'absence de ces liaisons détermine le caractère hydrophobe des molécules qui ne peuvent être en solution. Ainsi, des cristaux de molécules, même faiblement chargées, peuvent se dissoudre aisément dans l'eau dont les molécules viennent alors former une « sphère d'hydratation » empêchant la re-formation du cristal (figure 1C). À l'opposé, cette propriété exclut les molécules apolaires telles que l'huile, imposant à ces dernières d'adopter certaines conformations (figure 2D).
- Le potentiel d'oxydo-réduction de l'eau est de + 0,82 Volt. De ce fait, elle peut se comporter comme un donneur ou un receveur d'électrons, notamment au niveau des chaînes d'oxydo-réductions mitochondriale et chloroplastique ainsi que dans les processus d'hydrolyse.
- La polarité de l'eau fait également que ses molécules sont attirées par les autres molécules portant des charges électriques.
- Les énergies thermiques spécifiques et de vaporisation de l'eau sont élevées. Ainsi, l'eau chauffe difficilement, mais conserve les calories emmagasinées. Cette propriété permet en particulier de « tamponner » les variations de température au sein de l'organisme, suite aux réactions chimiques

qui s'y produisent. Par ailleurs, la vaporisation de l'eau nécessitant beaucoup d'énergie, elle permet de refroidir de manière efficace la surface corporelle des animaux lors de la sudation.

- À très basse température, l'eau gèle, formant un réseau cristallin moins dense que l'eau à l'état liquide, mais plus volumineux, pouvant lyser les cellules.



**Figure 1** Molécule d'eau et quelques propriétés de l'eau

**A :** Molécule d'eau. **B :** Formation de liaisons hydrogène entre éléments chargés.  
**C :** Formation de sphères d'hydratation autour d'ions. **D :** Disposition des lipides apolaires (glycérides) à la surface ou dans l'eau

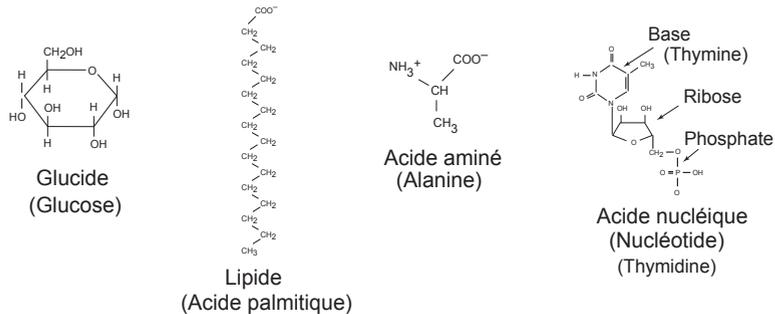
### 3. Les molécules organiques sont formées autour d'un squelette carboné

Les molécules biologiques sont constituées à partir de squelettes carbonés dans lesquels les atomes de carbone sont liés entre eux ou avec des atomes d'oxygène, d'hydrogène, d'azote, de phosphore ou de soufre.

On distingue quatre grands types moléculaires : les glucides, les lipides, les acides aminés et les acides nucléiques (figure 2). L'assemblage de petites molécules permet de former des molécules de grande taille, ou macromolécules ( $n$  glucoses  $\rightarrow$  1 glycogène).

**Figure 2** Les quatre grands types de molécules biologiques

- A :** Glucides (Glucose) ;  
**B :** Lipides (Acide palmitique) ;  
**C :** Protéines (Acide aminé – alanine) ;  
**D :** Acide nucléique (Thymidine riboside monophosphate)



Les glucides simples, ou oses, sont de petites molécules diffusant facilement. Ils peuvent s'associer en macromolécules constituant ainsi des réserves énergétiques (amidon, glycogène) ou des éléments structuraux (cellulose).

Les acides gras sont les constituants élémentaires des triglycérides et phospholipides. Ils constituent des substrats énergétiques pour les cellules, leur dégradation libérant plus d'énergie que celle des glucides, et sont stockés sous forme de triglycérides. Ils participent également à la structure des membranes cellulaires, sous forme de phospholipides

Les protéines sont constituées de l'assemblage d'acides aminés comprenant un groupement carboxyle ( $\text{COOH}$ ) et un groupement amine ( $\text{NH}_2$ ). Elles assurent de très nombreuses fonctions au sein de l'organisme (catalyse enzymatique, transport, défense immunitaire, mouvement, communication, etc.).

Les acides nucléiques sont constitués de l'assemblage de nucléotides, molécules elles-mêmes formées par l'association d'une base azotée, d'un ose (ribose ou désoxyribose) et d'un groupement phosphate. Ils constituent, en particulier, le support de l'information génétique. Cependant, certains nucléotides ont des rôles énergétiques (ATP), ou de transporteur (NAD).

Les composés organiques peuvent être divisés en deux grands groupes en fonction de leur masse molaire : les molécules de faible masse molaire et celles de masse supérieure à  $10^4$  Da, qualifiées de macromolécules. Seuls les glucides, les acides aminés, les acides nucléiques et les phénols peuvent former des macromolécules, les lipides ayant toujours une masse molaire inférieure à 750 Da. La matière vivante comprend ainsi quatre grands types de macromolécules : les polysides, les protéines, les acides nucléiques et les polyphénols. Ces macromolécules sont des polymères de molécules plus petites et de même nature (oses, acides aminés, nucléotides, phénols).

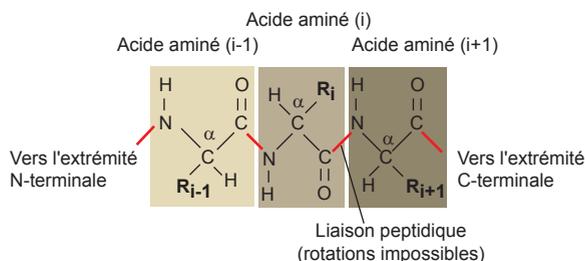
## 1. L'état macromoléculaire permet une structure tridimensionnelle

### ■ Quelques monomères pour un nombre infini de macromolécules

La combinaison de quelques éléments seulement permet de former un nombre illimité de macromolécules. Ainsi, quatre nucléotides différents sont à la base des molécules d'ADN et d'ARN ; 20 acides aminés différents à la base des protéines ; et quelques oses à la base des différents glucides.

L'association des monomères entre eux se fait par une réaction de condensation, nécessitant de l'énergie, et aboutissant à la formation d'une liaison covalente. L'association des acides aminés se fait par une liaison peptidique, celle des oses par une liaison osidique et celle des nucléotides par une liaison phosphodiester (figure 1).

#### A - Liaison peptidique



#### B - Liaison osidique

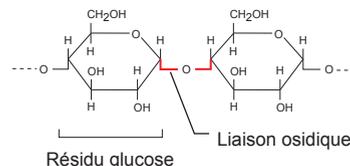


Figure 1 Liaisons peptidique (A) et osidique (B)

### ■ La structure tridimensionnelle des macromolécules

Les macromolécules s'organisent en structures tridimensionnelles, stabilisées par des liaisons faibles (figure 2A). Dans le cas des protéines, cette structure permet la formation de domaines fonctionnels.

De plus, certaines molécules peuvent s'associer en structures supramoléculaires (hémoglobine, ADN polymérase, etc.) (figure 2B).

### ■ La diversité des macromolécules

La diversité des macromolécules a pour origine, soit le nombre de monomères (20 acides aminés pour les protéines – hétéropolymères), soit les modes de liaison entre monomères (liaisons osidiques  $\alpha$  1-4,  $\beta$  1-6 pour les polymères de glucides). La liaison  $\beta$  1-6 conduit à la ramification des polymères glucidiques (figure 3).