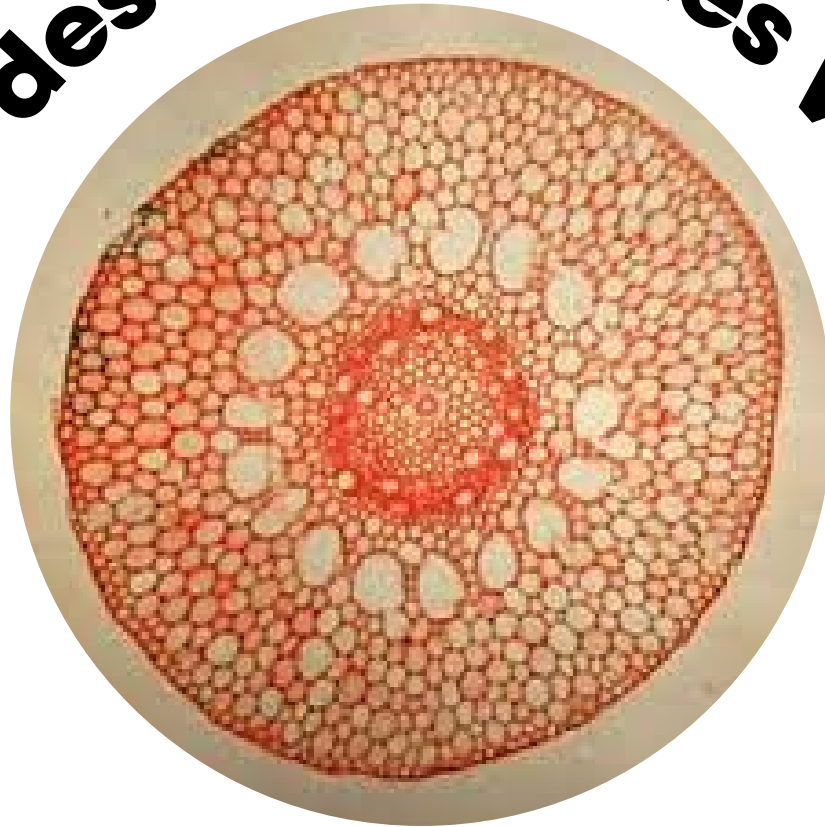


Biologie des Organismes Végétaux



SCIENCES DE LA
VIE ET DE LA TERRE



Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier



Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

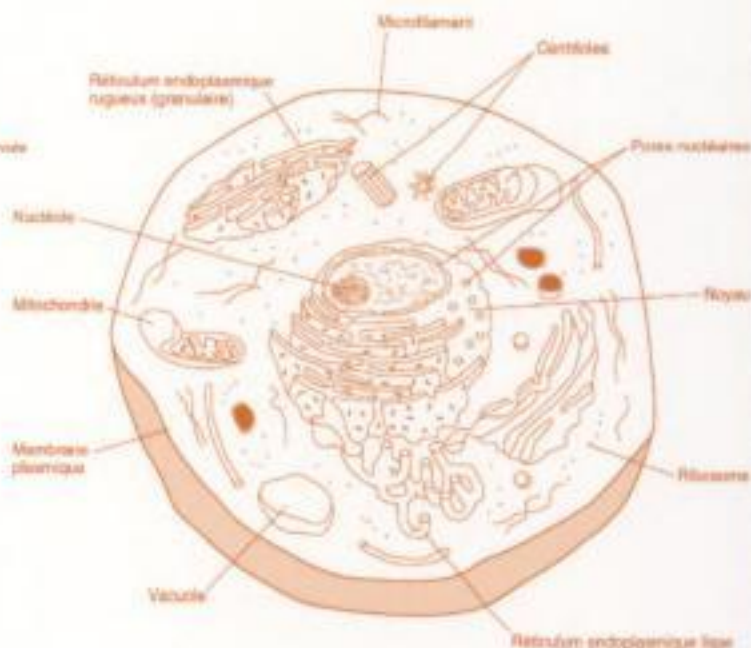
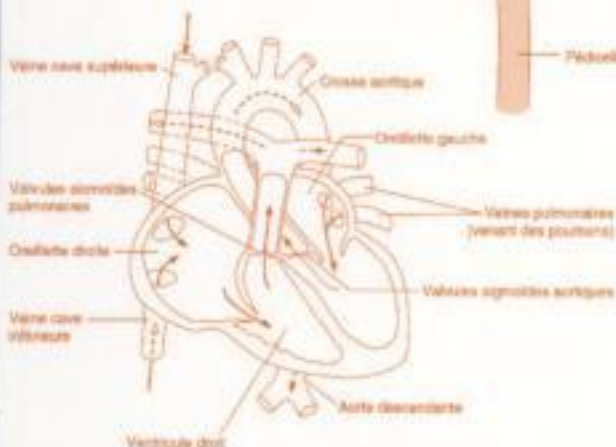
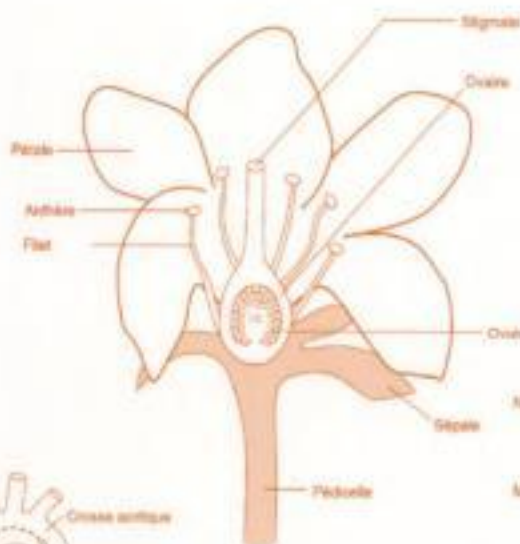
En bref...

Biologie

Stephen D. Bresnick

Traduction de la 1^{re} édition américaine par Pierre Delorme
Révision scientifique de Charles-Marie Evrard et Jules Bouharmont

<http://coursdemedecine.blogspot.com/>



En bref...

Indispensable à l'apprentissage et à la révision, cet ouvrage traite des concepts fondamentaux de la biologie cellulaire et moléculaire, de la physiologie, de la génétique et de l'évolution, tant dans le règne animal que chez les végétaux et les micro-organismes.

Tous les moyens didactiques sont mis à profit pour offrir à l'étudiant un condensé de la matière enseignée dans un cours de biologie générale : un style clair et efficace, des schémas sobres et récapitulatifs, des tableaux synthétiques.

En fin de volume, des questions, accompagnées de leur solution, offrent au lecteur la possibilité de vérifier sa bonne compréhension de la matière.

Stephen D. BRESNICK

University of California, San Diego

Pierre DELORME

Professeur des Universités honoraire, Lille 1

Jules BOUHARMONT

Professeur émérite de l'Université catholique de Louvain

Charles-Marie EVRARD

Professeur émérite de l'Université catholique de Louvain



Bibliothèque Scientifique

Groupe « ouvert »

facebook



9 782804 144098

ISSN 1373-0185

BRESNICK

ISBN 2-8041-4409-7

Copyrighted material

Biologie



Bibliothèque Scientifique

Groupe « ouvert »

facebook

En bref...

Charles G.D. Brook, Nicholas J. Marschall

Endocrinologie

Traduction de la 3^e édition anglaise par Georges Hennen

Martin Buysschaert

Diabétologie clinique. 2^e édition

John H. Byrne, Stanley G. Schultz

Transport membranaire et bioélectricité

Traduction de la 2^e édition américaine par G. Brûlé et G. Czernasty

Révision scientifique de M. Tralalon

Paul Depovere

Chimie générale. 2^e édition

Paul Depovere

Chimie organique

James D. Fix

Neuroanatomie. 2^e édition

Traduction de la 2^e édition américaine par Antoine Dhem

Christian Moussard

Biochimie structurale et métabolique

Médecine, pharmacie, sciences. 2^e édition

Christian Moussard, Roger Gibey, Martine Bénédicti

Biochimie structurale et métabolique. QCM et questions de révision

Médecine, pharmacie, sciences

Michael Neal

Pharmacologie médicale. 2^e édition

Traduction de la 4^e édition anglaise par Livia Giurgea

Révision scientifique de Marie-Paule Mingot

Robert F. Schmidt

Physiologie

Traduction de la 2^e édition allemande par Hubert Karmann et Nathalie Flacke

Révision scientifique de Etienne Savin

Adam D. Timmis, Anthony Nathan

Cardiologie

Traduction de la 3^e édition anglaise par René Krémer

Albert Van de Vorst

Mécanophysique - Synthèse des formules et des lois essentielles de la physique

Robert H. Whitaker, Neil R. Borley

Anatomie - Angéiologie - Nerfs crâniens et nerfs rachidiens - Organigrammes généraux/rappels osseux, articulaires et musculaires

Traduction de la 2^e édition américaine par François Beauthier, Jean-Pol Beauthier et Philippe Lefèvre

La référence en biologie générale

Neil A. Campbell, Jane B. Reece

Biologie. 2^e édition

Adaptation et révision scientifique de Richard Mathieu

En bref...

Biologie

Stephen D. Bresnick

Traduction de la 1^{re} édition américaine par Pierre Delorme
Révision scientifique de Charles-Marie Evrard et Jules Bouharmont



de boeck

Ouvrage original

High Yield Biology, by Stephen Bresnick, M.D. Columbia Review

© 1996 by Lippincott Williams & Wilkins

Published by arrangement with Lippincott Williams & Wilkins, USA.

All rights reserved.

Pour toute information sur notre fonds et les nouveautés dans votre domaine de spécialisation, consultez notre site web : www.deboeck.com

© De Boeck & Larcier s.a., 2004,
Éditions De Boeck Université
rue des Minimes 39, B-1000 Bruxelles
Pour la traduction et l'adaptation française

1^{re} édition

Tous droits réservés pour tous pays.

Il est interdit, sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, de reproduire (notamment par photocopie) partiellement ou totalement le présent ouvrage, de le stocker dans une banque de données ou de le communiquer au public, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit.

Imprimé en Belgique

Dépôt légal :

Bibliothèque Nationale, Paris : mars 2004

Bibliothèque Royale Albert I^{er}, Bruxelles : 2004/0074/79

ISBN 2-8041-4409-7

ISSN 1373-0185

Copyrighted material



Table des matières

<i>Avant-propos</i>	11
<i>Avant-propos de l'édition française</i>	13
<i>Abréviations</i>	15

PARTIE 1 **Biologie cellulaire et moléculaire**

CHAPITRE 1

<i>Enzymes</i>	21
1. Structure et fonction des enzymes	21
2. Mécanismes de régulation des enzymes	25

CHAPITRE 2

<i>Photosynthèse, métabolisme cellulaire et respiration cellulaire</i>	27
1. Introduction	27
2. La photosynthèse	27
3. Métabolisme cellulaire	34
4. Respiration cellulaire et fermentation	37

CHAPITRE 3

<i>Fonctions et structure de l'ADN</i>	45
1. Fonctions et structure de l'ADN	45
2. Réplication (= duplication) de l'ADN	48

CHAPITRE 4

Expression des gènes : de l'ADN à la protéine	51
1. Vue d'ensemble	51
2. Transcription	52
3. Traduction	60

CHAPITRE 5

Microbiologie	63
1. Les virus	63
2. Les cellules procaryotes	66
3. Les champignons	70

CHAPITRE 6

La cellule eucaryote	75
1. Vue d'ensemble	75
2. La cellule eucaryote : structures et fonctions	76
3. Le cycle cellulaire et la mitose chez les eucaryotes	91

CHAPITRE 7

Cellules et tissus spécialisés des vertébrés	95
1. Vue d'ensemble	95
2. Cellules et tissus nerveux	95
3. Cellules et tissus contractiles	104
4. Cellules et tissus épithéliaux	109
5. Cellules et tissus conjonctifs	112

PARTIE 2 **Physiologie**

CHAPITRE 8

Le système nerveux	117
1. Introduction	117
2. Le système nerveux périphérique	117
3. Le système nerveux central (SNC)	122
4. Réception et traitement des informations sensorielles spéciales	126

CHAPITRE 9

Le système endocrinien	135
1. Fonctions du système endocrinien	135
2. Les principales glandes endocrines	138

CHAPITRE 10

Le système circulatoire	143
1. Vue d'ensemble des constituants du système circulatoire	143
2. Mécanismes de la circulation	148
3. La pression sanguine	150

CHAPITRE 11

Le système immunitaire	151
1. Introduction	151
2. Types d'immunité	151
3. Les cellules	152
4. Les tissus	155

CHAPITRE 12

Le système digestif	157
1. Nutrition	157
2. Le tube digestif	159
3. Les organes annexes	163

CHAPITRE 13

Le système excréteur	165
1. Le rôle du système excréteur dans l'homéostasie de l'organisme	165
2. Structure et fonction du rein des mammifères	165

CHAPITRE 14

Les muscles et le système squelettique	175
1. Le système musculaire	175
2. Le système squelettique	177

CHAPITRE 15

Le système respiratoire	183
1. Fonction et anatomie de base des voies aériennes et des poumons	183
2. Hémoglobine, échanges gazeux et réactions respiratoires	185

3. Mécanique de la ventilation	190
4. Thermorégulation	192
5. Mécanismes protecteurs contre la maladie et les particules	192

CHAPITRE 16

<i>La peau</i>	195
1. Structure de la peau	195
2. Fonctions de la peau	197

CHAPITRE 17

<i>Le système reproducteur</i>	199
1. Le système reproducteur masculin	199
2. Le système reproducteur féminin	203

CHAPITRE 18

<i>Développement</i>	211
1. Embryologie humaine	211
2. Mécanismes du développement	217

PARTIE 3

Génétique, évolution et botanique

CHAPITRE 19

<i>Génétique</i>	221
1. Introduction	221
2. Mendel et les principes de l'hérédité	223
3. Génétique des populations	226
4. Méiose	228
5. Mutations	231
6. Liaison aux chromosomes sexuels	234
7. Analyse des arbres généalogiques	235
8. Carte génétique	237

CHAPITRE 20

<i>Évolution</i>	241
1. Sélection naturelle	241
2. Le concept d'espèce	242

3. L'origine de la vie	243
4. Anatomie comparée	244

CHAPITRE 21

<i>Une vue d'ensemble de la botanique</i>	247
1. Évolution des végétaux	247
2. Morphologie et structure des végétaux	248
3. Cycle de développement	255
4. Le règne végétal	255

ANNEXE

<i>Questions de révision</i>	261
1 ^{er} groupe PARTIE 1 : BIOLOGIE MOLÉCULAIRE ET CELLULAIRE	261
2 ^e groupe PARTIE 1 : BIOLOGIE MOLÉCULAIRE ET CELLULAIRE	267
3 ^e groupe PARTIE 1 : BIOLOGIE MOLÉCULAIRE ET CELLULAIRE	273
4 ^e groupe PARTIE 2 : PHYSIOLOGIE	277
5 ^e groupe PARTIE 2 : PHYSIOLOGIE	283
6 ^e groupe PARTIE 2 : PHYSIOLOGIE	289
7 ^e groupe PARTIE 2 : PHYSIOLOGIE	294
8 ^e groupe PARTIE 3 : GÉNÉTIQUE, ÉVOLUTION ET BOTANIQUE	301
9 ^e groupe PARTIE 3 : GÉNÉTIQUE, ÉVOLUTION ET BOTANIQUE	309



Avant-propos

Cet ouvrage est un livre de biologie, il est de lecture facile et de rédaction concise. Le livre se focalise sur une revue conceptuelle des thèmes biologiques fondamentaux tels que biologie cellulaire et moléculaire, physiologie, génétique fondamentale, évolution et botanique. Son but est de couvrir une masse importante de connaissances sans être verbeux. De nombreux exemples, problèmes, tableaux et figures rehaussent le texte écrit, dans ses grandes lignes, sous une forme narrative. Afin d'assurer la maîtrise des connaissances, plus de 200 questions de révision, suivies de leurs réponses explicatives, sont fournies à la fin du manuel.



Avant-propos de l'édition française

Cet ouvrage comporte, dans un espace volontairement restreint, une partie des connaissances fondamentales que tout étudiant de biologie devrait posséder à l'issue de son cursus universitaire. C'est pourquoi ce manuel est susceptible d'intéresser tous ceux qui, au terme d'une des étapes de leur parcours universitaire, sont désireux de faire le point sur les connaissances qu'ils ont accumulées dans les matières qui y sont regroupées. Je pense en l'occurrence, non seulement aux étudiants de biologie qui sont sur le point de terminer leur 1^{er} cycle d'études, mais aussi à ceux qui, à l'issue de leur second cycle, sont amenés à s'assurer de leur parfaite maîtrise des connaissances requises pour, par exemple, affronter des concours de recrutement (C.A.P.E.S. ou Agrégation des S.V.T., ou tout autre concours en sciences de la vie...).

Cet ouvrage, écrit dans un style clair et concis et correctement illustré, favorise cette mise au point. Toutefois, comme pour tout ouvrage qui se veut concis, le danger réside dans la difficulté à résumer avec clarté et exactitude des notions souvent complexes. Soucieux de présenter aux étudiants francophones un ensemble clair, complet, pertinent et sans ambiguïté, j'ai souvent été amené (notamment dans les parties de physiologie animale relevant de mes compétences) à modifier, ou à compléter un document, un terme, une expression, une phrase, un alinéa, voire à ajouter un paragraphe au texte original. Ces interventions, toujours réalisées dans l'esprit voulu par l'auteur, ont été chaque fois signalées en plaçant un astérisque avant (pour l'ensemble d'un alinéa ou d'un paragraphe) ou après (pour un terme, une expression ou une phrase) chacune d'elles.

Enfin, je tiens à remercier mes collègues belges, les professeurs J. BOUHARMONT et C. EVRARD et lillois, les professeurs J.-J. CURGY, M.-C. FABRE et M. MOUZE qui, grâce à leurs précieux conseils (notamment dans les parties n'entrant pas dans le champ réel de mes compétences à savoir, respectivement, génétique, botanique et évolution), m'ont permis de rendre le texte aussi clair et rigoureux que possible.

Pierre DELORME

Professeur des Universités honoraire
Université des Sciences et Technologies de Lille - France



Abréviations

A	Adényl cyclase
AAAD	Aminoacide L-aromatique décarboxylase
ACh	Acétylcholine
ACTH	H. adrénocorticotrope
ADH	H. antidiurétique (= AVP)
ADN	Acide désoxyribonucléique
ADP	Adénosine diphosphate
AMPc	Adénosine monophosphate cyclique
ARN	Acide ribonucléique
ARNm	ARN messenger
ARNr	ARN ribosomique
ARNt	ARN de transfert
ASP	Assise subéro-phellodermique
ATP	Adénosine triphosphate
ATPase	Adénosine triphosphatase
AVP	Arginine vasopressine (= ADH)
C3, C5	Sucre à 3, 5 carbones
CAT	Cycle de l'acide tricarboxylique
CCK	Cholécystokinine
CLL	Cambium libéro-ligneux
CMH	Complexe majeur d'histocompatibilité
CO ₂	Dioxyde de carbone
CoA	Coenzyme A
COMT	Catéchol-O-méthyle transférase
CTE	Chaîne de transport des électrons
D	Désiodinase
DPG	Diphosphoglycérate
e ⁻	Électron
e.g.	Exempli gracia = par exemple
E _A	Énergie d'activation

ECA	Enzyme de conversion de l'angiotensine
EPO	Érythropoïétine
F	Facteur de fertilité
F1/F2	1 ^{re} / 2 ^e génération fille
FAD	Flavine adénine dinucléotide
FAD ⁺	Flavine adénine dinucléotide oxydée
FADH ₂	Flavine adénine dinucléotide réduite
FSH	Hormone folliculo-stimulante
G	Protéine G
G3P	Glycéraldéhyde 3-phosphate
GCh	Gonadotrophine chorionique humaine
GH	H. de croissance = H. somatotrope
GTP	Guanosine triphosphate
H	Hormone
H ⁺	Ion hydrogène
Hb	Hémoglobine
HbO ₂	Oxyhémoglobine
HCl	Acide chlorhydrique
H ₂ CO ₃	Acide carbonique
H ₂ O	Eau
HCO ₃ ⁻	Bicarbonate
HFr	Recombinaison de haute fréquence
HHb	Hémoglobine réduite
ICSH	H. stimulant les cellules interstitielles
i.e.	id est = c'est-à-dire
Ig	Immunoglobuline
IgA	Immunoglobuline A
IgD	Immunoglobuline D
IgE	Immunoglobuline E
IgG	Immunoglobuline G
IgM	Immunoglobuline M
Kcal	Kilocalorie
Kj	Kilojoule
LCR	Liquide céphalo-rachidien
LH	Hormone lutéinisante
M	Mittelmembran = membrane médiane
MSH	Hormone stimulant les mélanocytes
NaCl	Chlorure de sodium
NAD ⁺	Nicotinamide adénine dinucléotide oxydé
NADH	Nicotinamide adénine dinucléotide réduit
NADP ⁺	NAD phosphate oxydé

NADPH	NAD phosphate réduit
NAV	Nœud auriculo-ventriculaire
NSA	Nœud sino-auriculaire
O ₂	Oxygène
OAA	Oxalo-acétate
P	Génération parentale
P ₅₀	PO ₂ pour une Hb saturée à 50%
PA	Potentiel d'action
PAC	Protéine activatrice des catabolites
pb	Paire de bases
PG	Potentiel gradué
pH	Potentiel hydrogène
P _{680 / 700}	Longueur d'onde de sensibilité maximale
Pi	Phosphate inorganique
PO ₂	Pression partielle en oxygène
PolyA	Polyadénylate
PPSE	Potentiel postsynaptique excitateur
PPSI	Potentiel postsynaptique inhibiteur
PRL	Prolactine
PTH	Parathormone
R	Récepteur
RE	Réticulum endoplasmique
REG	Réticulum endoplasmique granulaire
REL	Réticulum endoplasmique lisse
RER	Réticulum endoplasmique rugueux = REG
RuBP	Ribulose biphosphate
SB	Substance blanche
SN	Système nerveux
SNC	Système nerveux central
SNP	Système nerveux périphérique
SNPa	Système nerveux parasympathique
SNS	Système nerveux sympathique (orthosympathique)
SNV	Système nerveux végétatif
T	Transporteur
T ₃	Triiodothyronine
T ₄	Tétraiodothyronine = thyroxine
TCD	Tube contourné distal
TCP	Tube contourné proximal
TSH	H. thyroïdienne
Z	Zwischenmembran = membrane intermédiaire

PARTIE
1

**Biologie cellulaire
et moléculaire**

1

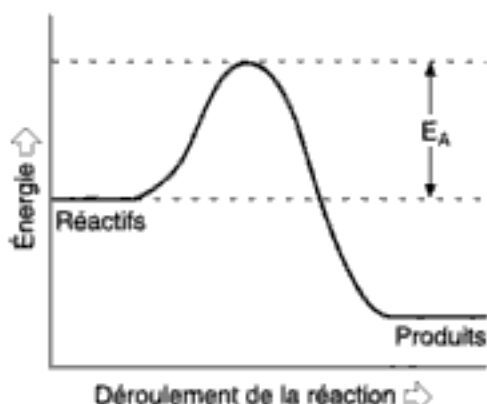
Enzymes

1. Structure et fonction des enzymes

A. Introduction aux enzymes

- 1. Dans une cellule vivante, toute activité met en jeu des réactions chimiques.** Dans ces réactions, les liaisons chimiques des molécules organiques sont rompues, si bien que de nouvelles liaisons peuvent se former.
- Pour qu'une réaction démarre, les molécules ont besoin que leur environnement leur fournisse **un apport initial d'énergie**. Cette énergie — **l'énergie d'activation (E_A)** — peut être perçue comme un « obstacle » énergétique qu'il est nécessaire de surmonter pour qu'une réaction puisse avoir lieu (figure 1-1A).
- Les **enzymes** sont des protéines qui abaissent l' E_A des réactions (voir figure 1-1B).
 - Les enzymes **réduisent E_A** par différents mécanismes. Par exemple, les enzymes peuvent amener l'ensemble des molécules à prendre un état apte à réagir ou peuvent fournir un microenvironnement favorable à une réaction.
 - Les enzymes agissent comme des **catalyseurs biologiques** ; elles accélèrent les réactions sans subir de changement.
 - Sans enzymes**, une E_A ne pourrait pas être surmontée à la température normale d'une cellule. Les réactions chimiques s'effectueraient si lentement que la cellule en mourrait.
- Toute cellule élabore de nombreux types différents d'enzymes**, dont chacune catalyse une réaction différente et hautement spécifique.
 - Chaque type d'enzyme a une **forme spécifique** qui se lie exclusivement à un groupe d'autres molécules.

A. Réaction sans enzyme



B. Réaction avec enzyme

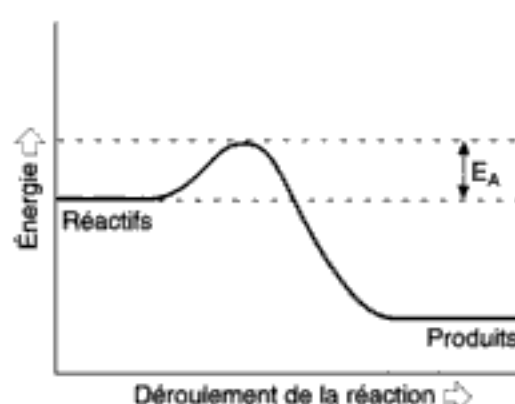


Figure 1.1 A) *Réaction sans enzyme*. Noter que la réaction exige plus d'énergie que la réaction B) qui, elle, se réalise en **présence d'enzyme**. E_A = énergie d'activation.

- b) Les **substrats** sont des réactifs qui sont introduits dans une réaction catalysée par une enzyme (enzymatique).

B. Structure des enzymes

1. **Les enzymes sont des protéines** (à quelques exceptions près). Chaque enzyme a une configuration différente, très précise, qui résulte de la superposition de plusieurs niveaux de structure protéique.

- a) La **structure primaire** correspond à la séquence d'acides aminés de la chaîne (ou des chaînes) polypeptidique(s) qui constitue(nt) l'enzyme.
- b) La **structure secondaire** résulte de liaisons chimiques faibles (e.g., liaisons hydrogène) établies entre les atomes, le long du squelette de la chaîne polypeptidique. Ce sont des interactions locales qui résultent d'un motif répétitif tridimensionnel (e.g., hélices alpha ; feuilles plissées bêta).
- c) La **structure tertiaire** implique des interactions à longue distance entre des acides aminés de chaînes voisines. Elles donnent à la protéine une forme globulaire très précise.
- d) La **structure quaternaire** correspond à l'interaction entre deux (ou plus) sous-unités polypeptidiques différentes d'une protéine fonctionnelle.

2. **Site actif**. Le site actif est la région restreinte de l'enzyme au niveau de laquelle le substrat (ou des substrats) se lie(nt) et où la réaction enzymatique se réalise. Un site actif peut être une poche ou une gouttière de la molécule enzymatique.

C. Fonctionnement des enzymes

1. **Cycle catalytique** (figure 1-2)



Figure 1.2 *L'interaction du substrat et de l'enzyme forme un complexe enzyme-substrat. Le complexe se désunit pour redonner l'enzyme et libérer les produits.*

a) Première étape : le substrat se lie à l'enzyme. Le substrat (ou les substrats) se lie(nt) au site actif pour former le complexe enzyme - substrat.

b) Deuxième étape : adaptation induite. La liaison enzyme - substrat induit un changement de conformation de l'enzyme de telle sorte que le substrat s'adapte plus intimement au site actif (i.e., adaptation induite). L'adaptation induite est une forme réversible de l'enzyme.

c) Troisième étape : catalyse. Lorsque la réaction est catalysée, le substrat (ou les substrats) est (sont) changé(s) de façon spécifique par une modification chimique telle qu'un clivage ou l'union de substrats multiples.

1° Unité enzymatique. La catalyse se produit si vite qu'une seule molécule d'enzyme peut convertir plus de 1 000 molécules de substrat par seconde. C'est ce chiffre qui est appelé unité enzymatique.

2° Bidirectionnalité. La même enzyme catalyse une réaction donnée dans un sens ou dans l'autre.

d) Quatrième étape : libération des produits. Les produits de la réaction sont libérés du site actif et l'enzyme reste dans sa forme originale. Son site actif étant libre, l'enzyme peut être réutilisée par un nouveau substrat.

2. La vitesse de réaction (i.e., la quantité totale de produit par unité de temps) dépend largement des concentrations relatives des molécules de substrat et d'enzyme. Lorsque la concentration de substrat augmente, la vitesse de réaction augmente car il y a plus de molécules d'enzyme occupées.

a) Saturation. Pour une certaine concentration de substrat, l'enzyme est saturée (i.e., les sites actifs de toutes les molécules d'enzyme sont occupés).

- b) Au point de saturation, la réaction atteint son taux maximum. Ce taux ne dépend que de la rapidité avec laquelle chaque molécule d'enzyme peut convertir le substrat.

D. Facteurs qui affectent l'activité enzymatique

Plusieurs facteurs influencent l'activité catalytique des enzymes.

1. Dans de nombreuses réactions, la présence de petites **substances non protéiques** sont nécessaires pour une activité enzymatique convenable. Ces substances « déclenchent » une réaction en se liant de façon spécifique à la molécule d'enzyme.
 - a) Les **coenzymes** sont des substances organiques (e.g., vitamines, coenzyme A, biotine, hème).
 - b) Les **cofacteurs** sont des substances inorganiques (e.g., atomes de zinc, de fer, de cuivre).
 - c) Les **groupements prosthétiques**. Coenzymes et cofacteurs peuvent se lier si étroitement qu'ils font effectivement partie de la protéine au point qu'ils sont appelés groupements prosthétiques.
 - d) L'**holoenzyme** est l'ensemble de la protéine et des parties non protéiques d'une enzyme.
 - e) L'**apoenzyme** correspond à la seule partie protéique de l'enzyme.
2. Chaque enzyme a besoin de **conditions environnementales optimales** pour être dans sa conformation la plus efficace.
 - a) **Température**
 - 1° **Effets sur les réactions**. Une légère augmentation de température accélère les réactions ; les molécules se déplacent plus rapidement et sont, par conséquent, plus aptes à interagir. Une légère diminution de température a l'effet opposé.
 - 2° **Dénaturation**. Lorsqu'on dépasse une certaine température, les liaisons chimiques sont rompues et l'enzyme perd sa forme spécifique (i.e., il est dénaturé). La dénaturation est un changement permanent qui inactive une enzyme.
 - b) **pH**. Un environnement trop acide, ou trop alcalin, peut dénaturer les enzymes. Pour la plupart des enzymes, le pH optimal est neutre (pH = 7). Il y a des exceptions : par exemple, les enzymes digestives gastriques sont actives à pH = 2.
3. Les **inhibiteurs** sont des molécules qui se lient de façon sélective aux enzymes et qui inhibent l'activité enzymatique. La liaison de certains inhibiteurs aux enzymes est réversible, d'autres liaisons sont irréversibles.
 - a) Les **inhibiteurs compétitifs** ressemblent au substrat normal et entrent en compétition avec lui en se liant au site actif d'une enzyme (figure 1-3A). Par conséquent, la liaison d'un inhibiteur empêche le

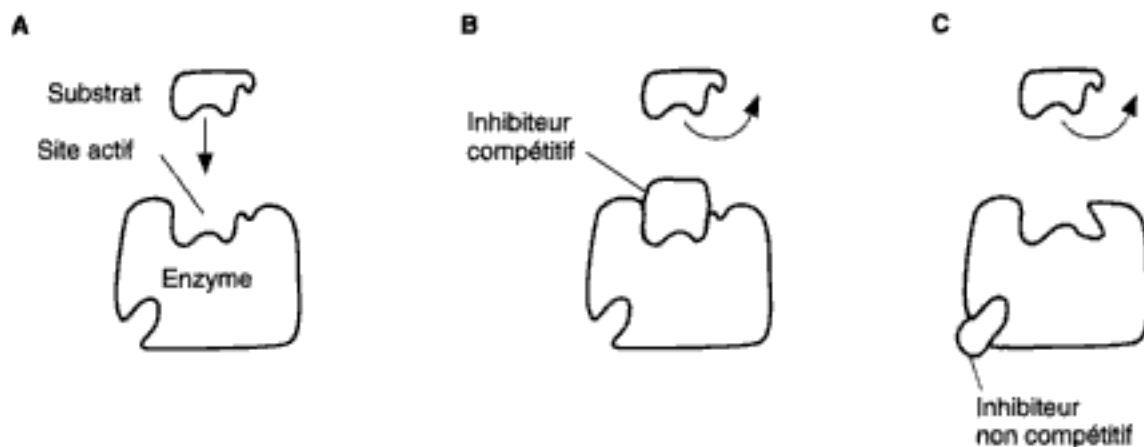


Figure 1.3 A) Liaison d'un substrat normal au site actif. B) Liaison d'un inhibiteur compétitif au site actif. C) Liaison d'un inhibiteur non compétitif en un autre endroit qu'au site actif

substrat de se lier au site actif. (voir figure 1-3B). Si l'inhibiteur est réversible, l'effet de l'inhibition compétitive peut être levé en augmentant la concentration du substrat.

- b) Les **inhibiteurs non compétitifs** se lient à une région de l'enzyme différente du site actif (voir figure 1-3C). La liaison de l'inhibiteur modifie la forme du site actif de telle sorte qu'il ne peut plus s'unir au substrat.

2. Mécanismes de régulation des enzymes

A. Régulation allostérique

1. Un **site allostérique** est un site spécifique d'une enzyme, différent du site actif. La liaison de molécules régulatrices à un site allostérique sta-

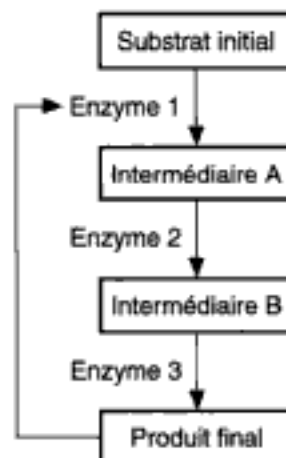


Figure 1.4 La boucle d'inhibition rétroactive

bilise l'une ou l'autre des conformations possibles du site actif de l'enzyme.

a) La **liaison allostérique d'un activateur** stabilise une configuration active de l'enzyme.

b) La **liaison allostérique d'un inhibiteur** stabilise une conformation inactive de l'enzyme.

2. Les **enzymes allostériques** sont habituellement des complexes protéiques, ayant de multiples sous-unités, dont chacune possède son propre site actif. La liaison d'une molécule régulatrice à un site allostérique d'une sous-unité peut, par coopération, influencer le complexe entier.

B. Inhibition rétroactive ou rétroinhibition

Lors d'une inhibition rétroactive, une voie métabolique est régulée par le produit final de cette voie (figure 1-4).

1. **Lorsque le produit final est en excès**, il inhibe de façon allostérique l'activité de la première enzyme de la voie. Cette régulation négative empêche l'accumulation inutile, et éventuellement nuisible, d'un excès de produits intermédiaires ou terminaux.
2. Lorsque le produit final n'est pas en excès, l'inhibition allostérique de l'enzyme est levée. La voie est ainsi réactivée.

C. Complexes multienzymatiques

Plusieurs enzymes, agissant sur une même voie, peuvent être assemblées de telle sorte que la réaction se réalise efficacement et dans une séquence convenable (comme dans un assemblage en ligne). Les complexes multienzymatiques peuvent être localisés dans des compartiments cellulaires spécifiques ou dans des organites.

2

Photosynthèse, métabolisme cellulaire et respiration cellulaire

1. Introduction

On peut considérer que la photosynthèse et la respiration cellulaire sont des processus opposés bien qu'interdépendants.

- A.** La **photosynthèse** implique l'utilisation de l'énergie lumineuse, du dioxyde de carbone et de l'eau pour donner du glucose, d'autres glucides et des composés organiques ; c'est le mécanisme de production d'oxygène le plus important. L'oxygène est nécessaire à l'étape finale de la respiration cellulaire.
- B.** La **respiration cellulaire** implique la conversion du glucose, et des autres glucides, en liaisons phosphate riches en énergie, en dioxyde de carbone et en eau. La photosynthèse évite que le taux de dioxyde de carbone toxique puisse s'élever dans l'atmosphère.

2. La photosynthèse

- A.** La photosynthèse assure la **nutrition** de presque tous les êtres vivants, soit directement, soit indirectement.
 - 1. Les autotrophes** utilisent directement la photosynthèse pour élaborer des molécules organiques. Les autotrophes comprennent :
 - a) Les plantes**
 - b) Les algues pluricellulaires** (e.g., algues des mares, varech)
 - c) Certains protistes unicellulaires** (e.g., *Euglena*)
 - d) Certains procaryotes** (e.g., cyanobactéries)
 - 2. Les hétérotrophes** ne peuvent pas produire leurs propres molécules organiques alimentaires ; ils assurent leur nutrition en mangeant d'autres organismes ou leurs sous-produits. Les hétérotrophes comprennent :

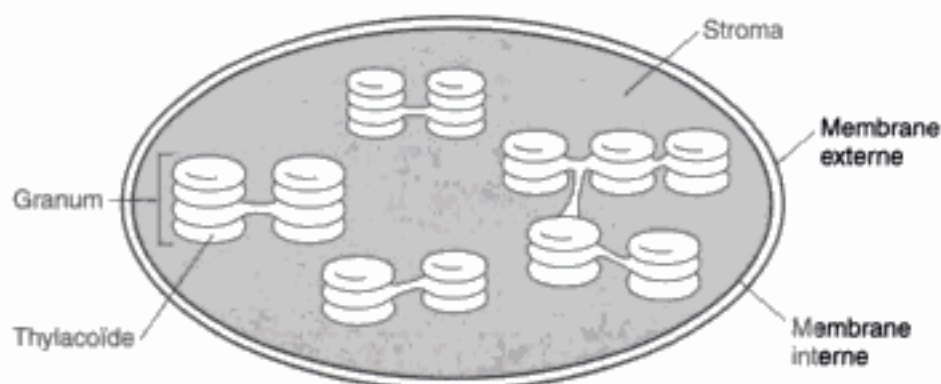


Figure 2.1 Coupe transversale d'un chloroplaste

- a) **Les eucaryotes pluricellulaires** (e.g., éponges, insectes, poissons, amphibiens, mammifères)
- b) **Les champignons** qui se nourrissent de matière organique en décomposition
- c) **Certains procaryotes** (e.g., bactéries unicellulaires qui agissent comme décomposeurs)

B. Organites de la photosynthèse

1. **Les chloroplastes** sont les organites de la photosynthèse des **plantes**, des **algues pluricellulaires** et des **protistes**.
 - a) **Les chloroplastes** possèdent une **membrane interne**, une **membrane externe**, un **stroma rempli de liquide** et des **grana**, empilements de sacs aplatis appelés **thylacoïdes**, qui forment un système membranaire extensif (figure 2-1).
 - b) Toutes les parties vertes de la plante (i.e., la tige et les feuilles) contiennent des chloroplastes intracellulaires. Chez les algues pluricellulaires et les protistes, les chloroplastes sont aussi intracellulaires.
2. Chez les **procaryotes photosynthétiques**, les **membranes plasmiques**, ou les **membranes des vésicules**, sont des sites de photosynthèse ; ces organismes n'ont pas de chloroplastes.

C. Processus de la photosynthèse

1. La **réaction photosynthétique** est :

$$6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{énergie lumineuse} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$$
2. **Les pigments.** La membrane des thylacoïdes contient des pigments qui sont sensibles à des longueurs d'ondes différentes de l'énergie lumineuse et qui les absorbent. Toute l'énergie lumineuse absorbée est finalement transférée à la chlorophylle *a*.
 - a) La **chlorophylle a** et la **chlorophylle b** sont composées d'un anneau porphyrique contenant du magnésium et d'une queue

hydrocarbonée ; c'est le groupement fonctionnel, lié à la porphyrine, qui les différencie. La chlorophylle est **bleu-vert** ou **jaune-vert**.

b) Les caroténoïdes, qui sont des glucides, sont des pigments **jaune** ou **orange**.

3. Les photosystèmes. Les pigments, qui absorbent la lumière, et certaines autres molécules, sont arrangés en photosystèmes dans la membrane des thylacoïdes. Chaque photosystème est stimulé, de façon optimale, par un spectre lumineux différent.

a) Le photosystème I contient des molécules de chlorophylle *a* dont la sensibilité maximale à la lumière se situe à une longueur d'onde de 700 nm (**P₇₀₀**).

b) Le photosystème II contient des molécules de chlorophylle *b* dont la sensibilité maximale à la lumière se situe à une longueur d'onde de 680 nm (**P₆₈₀**).

4. Étapes de la photosynthèse. La photosynthèse comporte deux étapes : l'étape de réaction à la lumière et le cycle de Calvin (figure 2-2).

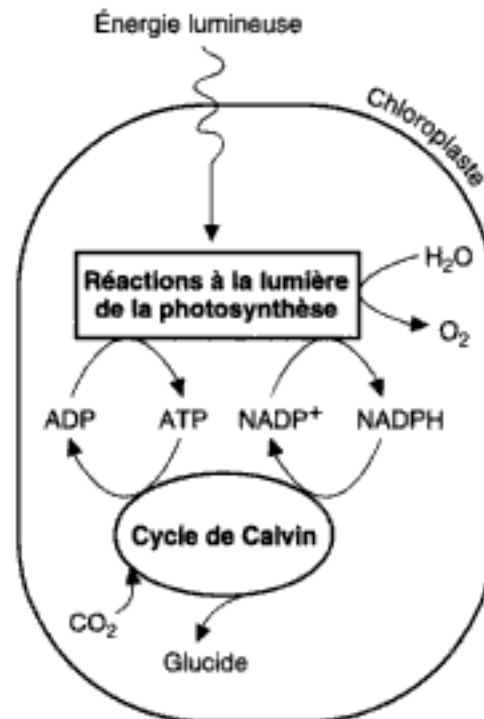


Figure 2.2 Vue d'ensemble de la photosynthèse

L'adénosine triphosphate (ATP) et le nicotinamide adénine dinucléotide phosphate oxydé (NADP⁺), produits de l'étape de réaction à la lumière, sont utilisés dans le cycle de Calvin pour produire des molécules de glucide à partir du dioxyde de carbone (CO₂). ADP = adénosine diphosphate ; H₂O = eau ; NADPH = nicotinamide adénine dinucléotide phosphate réduit ; O₂ = oxygène.

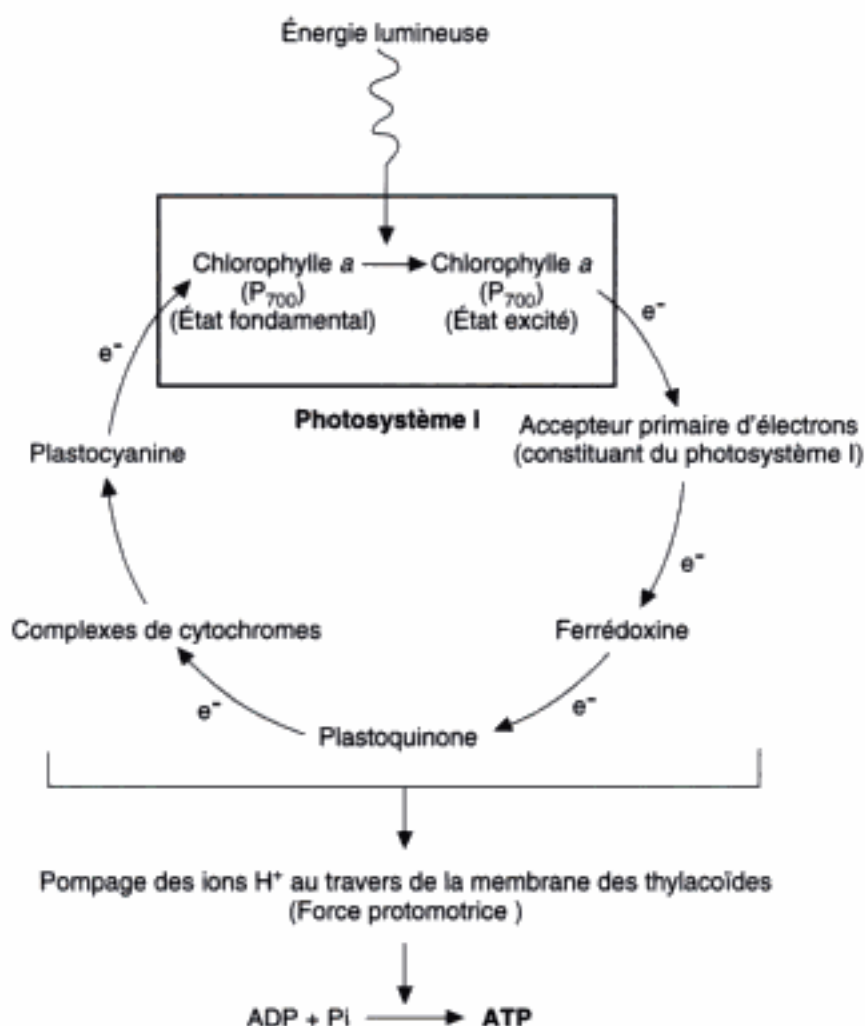


Figure 2.3 Flux cyclique d'électrons lors de la réaction à la lumière

Les électrons sont restitués au photosystème, et l'adénosine triphosphate (ATP) est produit à partir de l'adénosine diphosphate (ADP). e^- = électron ; P_i = phosphate inorganique.

- a) Réaction à la lumière.** Lors de la réaction à la lumière, le flux d'électrons suit deux routes : l'une cyclique, l'autre non-cyclique. Toutes deux ont lieu dans la membrane des thylacoïdes.
- (1) Flux d'électrons cyclique** (figure 2-3). Les électrons reviennent à la chlorophylle du photosystème.
- (a)** L'absorption de l'énergie lumineuse (photons) par le **photosystème I** fait passer la chlorophylle de son état fondamental à son état excité.
 - (b)** La chlorophylle *a* cède ses électrons excités à une molécule voisine, l'**accepteur primaire d'électrons**.
 - (c)** L'accepteur primaire d'électrons fournit les électrons à une **chaîne de transport des électrons**. La chaîne est constituée de **ferrédoxine**, (une protéine contenant du fer), de **plasto-**

quinone (un transporteur d'électrons), de **complexes de cytochromes** et de **plastocyanine** (une protéine contenant du cuivre).

(d) Lorsque les électrons sont transportés d'un membre de la chaîne au suivant, les ions hydrogène sont pompés au travers de la membrane des thylacoïdes vers leur compartiment interne. La **liaison du transport des électrons au pompage**

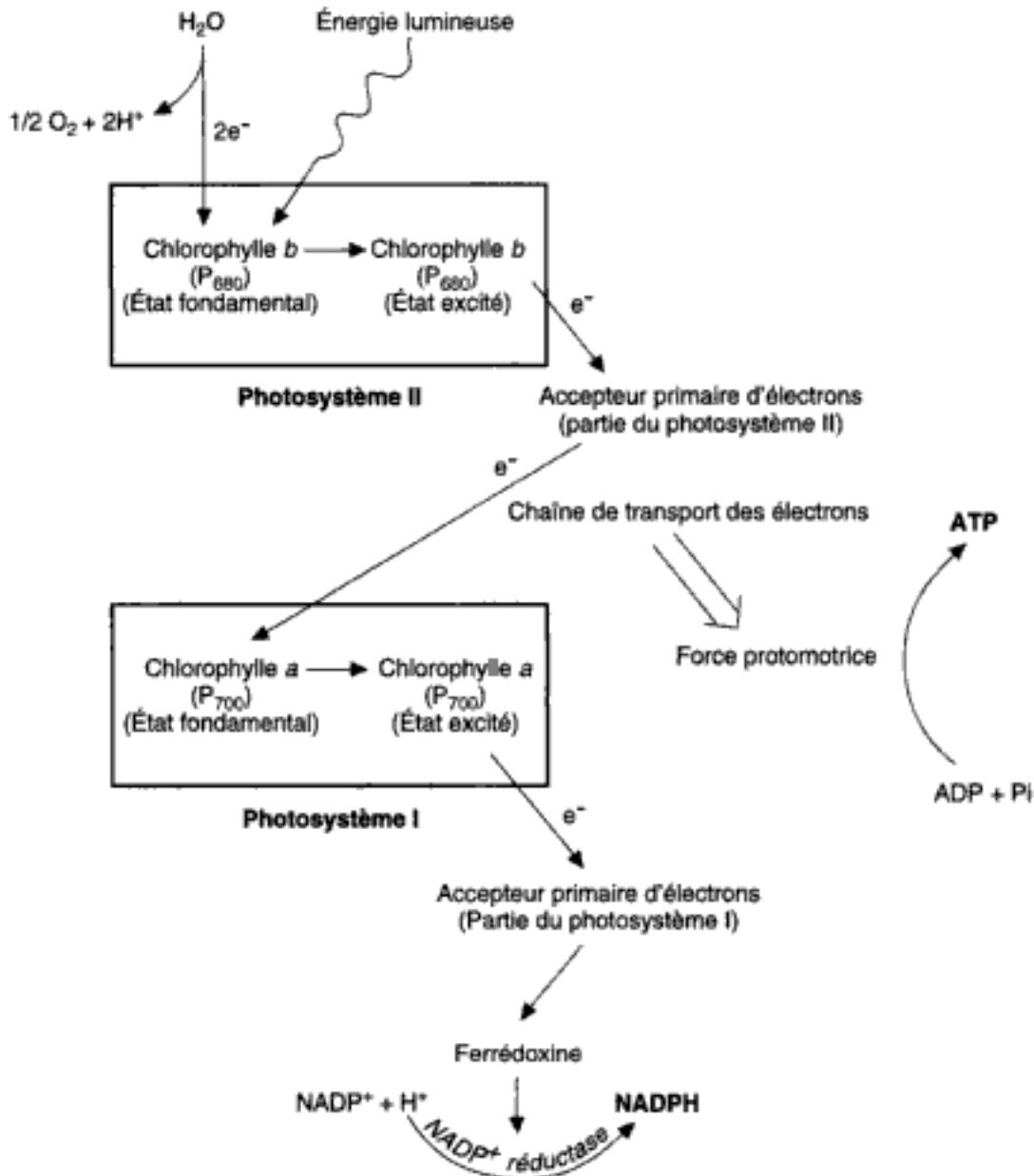


Figure 2.4 Flux d'électrons non cyclique de la réaction à la lumière

Les électrons ne sont pas restitués au photosystème ; ils sont remplacés par l'hydrolyse de l'eau (H_2O) en oxygène (O_2) et hydrogène (H^+). ADP = adénosine diphosphate ; ATP = adénosine triphosphate ; e^- = électrons ; $NADP^+$ = nicotinamide adénine dinucléotide phosphate oxydé ; $NADPH$ = nicotinamide adénine dinucléotide phosphate réduit ; P_i = phosphate inorganique.

des ions hydrogène engendre une force protomotrice qui active une enzyme laquelle, à son tour, phosphoryle l'adénosine diphosphate (ADP) en adénosine triphosphate (ATP)

(e) La plastocyanine, dernière protéine de la chaîne de transport des électrons, restitue les électrons au photosystème I.

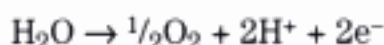
(2) Flux d'électrons non cyclique (figure 2-4). Les électrons passent de l'eau au nicotinamide adénine dinucléotide phosphate oxydé (NADP⁺). Ils ne reviennent pas à la chlorophylle du photosystème. L'un ou l'autre des pigments des photosystèmes I ou II peut être stimulé.

(a) Stimulation du photosystème I

- 1° La chlorophylle *a* passe de son état fondamental à son état excité.
- 2° Les électrons sont transférés à un accepteur primaire d'électrons.
- 3° De l'accepteur primaire d'électrons, ceux-ci sont transférés à la ferrédoxine où une NADP⁺ réductase réduit NADP⁺ et H⁺ en nicotinamide adénine dinucléotide phosphate réduit (NADPH).

(b) Stimulation du photosystème II

- 1° La lumière stimule la chlorophylle *b* dans le complexe du photosystème II.
- 2° L'accepteur primaire d'électrons du photosystème II arrache les électrons de la chlorophylle et les transfère à la même chaîne de transport des électrons que celle qui est impliquée dans la réaction cyclique.
- 3° Les électrons descendent la chaîne de transport des électrons, en perdant de l'énergie potentielle. Le transport des électrons est couplé au pompage d'ions hydrogène au travers de la membrane des thylacoïdes. La force protomotrice engendrée entraîne alors la synthèse d'ATP.
- 4° Les électrons sont éventuellement transférés au photosystème I, où ils remplacent les électrons perdus lors de la réduction du NADP⁺.
- 5° Les électrons perdus par le photosystème II sont remplacés par l'hydrolyse de l'eau en oxygène gazeux et en ions hydrogène.



b) Le cycle de Calvin (figure 2-5). Le cycle de Calvin, voie critique par laquelle les molécules de glucide sont élaborées à partir du dioxyde de carbone, s'effectue dans le stroma du chloroplaste.

(1) Pour synthétiser une molécule de glycéraldéhyde phosphate, le cycle doit s'effectuer trois fois. Le NADP⁺ est utilisé comme réducteur et l'ATP l'est en tant que source d'énergie. Pour cha-

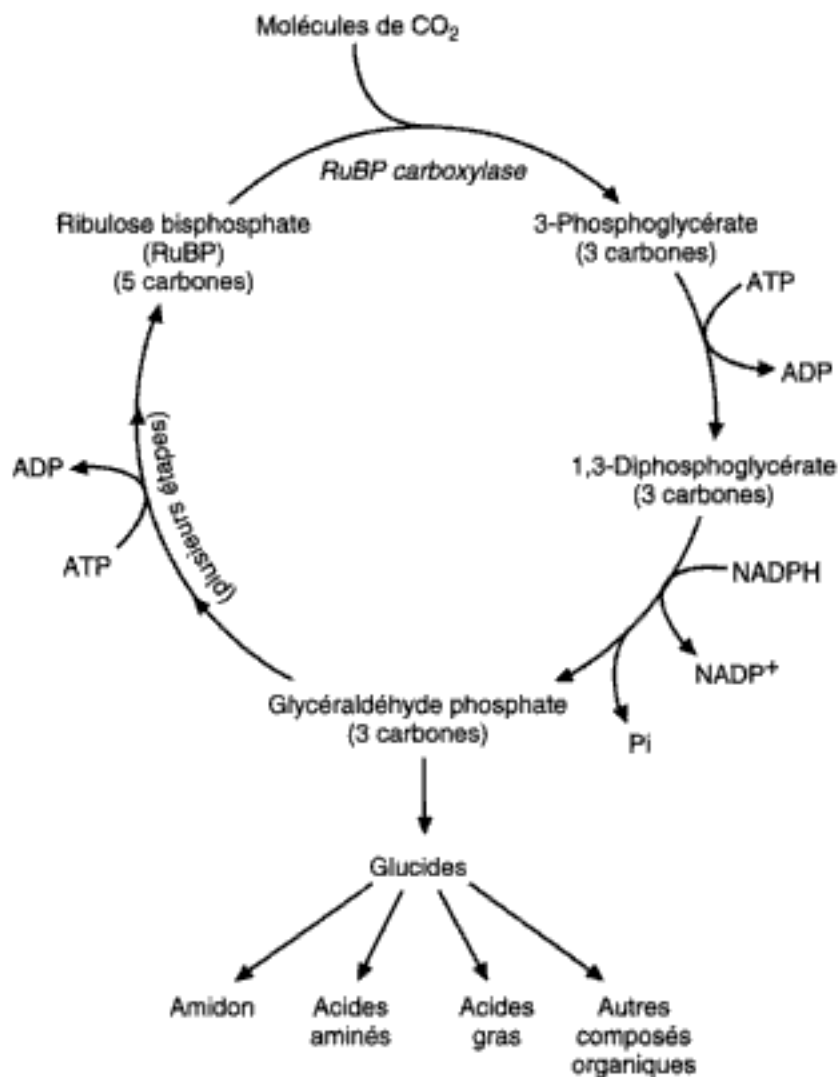


Figure 2.5 Le cycle de Calvin

Le dioxyde de carbone (CO_2) se lie à un glucide à cinq carbones [ribulose biphosphate, (RuBP)] et se divise immédiatement en deux molécules de glucides à trois carbones [glycéraldéhyde phosphate]. Certaines molécules de glycéraldéhyde phosphate quittent le cycle pour donner de l'énergie et participer à la synthèse d'autres composés organiques alors que d'autres molécules de glycéraldéhyde restent dans le cycle et subissent une série d'étapes avant de redonner du RuBP. La régénération du RuBP exige la participation d'adénosine triphosphate (ATP). ADP = adénosine diphosphate ; NADPH = nicotinamide adénine dinucléotide phosphate réduit ; NADP^+ = nicotinamide adénine dinucléotide phosphate oxydé ; P_i = phosphate inorganique.

cune des trois molécules de dioxyde de carbone qui entre dans le cycle, une molécule de glycéraldéhyde phosphate (glucide à trois carbones) est produite, neuf molécules d'ATP sont hydrolysées et six molécules de NADPH sont oxydées.

[a] Chaque molécule de dioxyde de carbone s'unit au ribulose biphosphate (RuBP), un glucide à cinq carbones, pour former une molécule instable à six carbones qui se divise pour donner

deux molécules de 3-phosphoglycérate. Cette étape est catalysée par une RuBP carboxylase.

(b) Chaque molécule de 3-phosphoglycérate est complétée par un groupe phosphate supplémentaire venant de l'ATP et forme du 1,3-diphosphoglycérate.

(c) Le NADPH réduit le 1,3-diphosphoglycérate en glycéraldéhyde phosphate.

(2) Certaines molécules de glycéraldéhyde phosphate quittent le cycle de Calvin pour fournir de l'énergie à la cellule de la plante et les briques pour construire d'autres molécules organiques. D'autres molécules de glycéraldéhyde phosphate demeurent dans le cycle pour régénérer le RuBP par un processus qui requiert de l'ATP.

3. Métabolisme cellulaire

A. Les voies métaboliques

1. Le terme **métabolisme** se rapporte à l'ensemble des réactions chimiques qui ont lieu dans une cellule vivante ou dans un organisme. Le métabolisme est l'une des caractéristiques essentielles de tous les êtres vivants.

a) Les réactions métaboliques se produisent en « chaînes » ou voies. Dans une voie métabolique, le produit de la réaction 1 devient un réactif dans la réaction 2 et ainsi de suite. De nombreuses voies se ramifient car certaines molécules ont la possibilité d'entrer dans plusieurs réactions éventuelles.

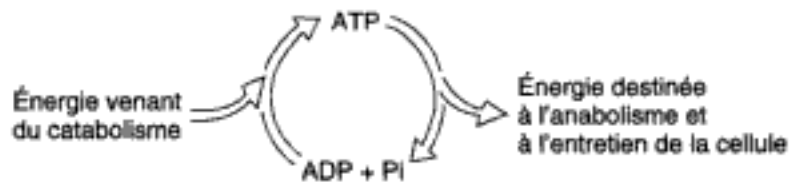
b) Régulation enzymatique. Chaque réaction est catalysée par une enzyme différente. La régulation enzymatique contrôle les voies qui seront impliquées dans une réaction et le point jusqu'auquel elles se dérouleront (voir chapitre 1).

2. Il y a deux types généraux de voies métaboliques dans les cellules vivantes (figure 2-6A).

a) Les voies cataboliques provoquent la dégradation des molécules organiques en leurs constituants les plus simples. Le catabolisme libère l'énergie chimique stockée dans les liaisons chimiques des molécules organiques.

b) Les voies anaboliques entraînent la synthèse de molécules organiques à partir de leurs constituants les plus simples. L'anabolisme exige un apport d'énergie chimique, qui se stocke dans les molécules organiques.

A



B

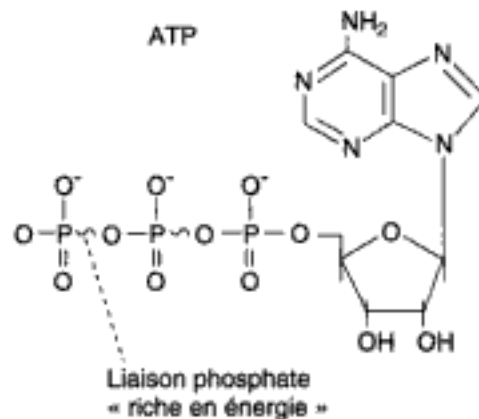


Figure 2.6 A) Relation entre catabolisme et anabolisme, et B) la structure de l'adénine triphosphate (ATP)

Noter la position des liaisons phosphate riches en énergie. ADP = adénosine diphosphate ; Pi = phosphate inorganique.

- 3. Processus couplés.** Dans les cellules, les voies cataboliques fournissent l'énergie chimique indispensable à la réalisation des voies anaboliques.

B. Énergie chimique et ATP

- 1. Obtention de molécules organiques.** Seules les plantes et les autres organismes photosynthétiques peuvent élaborer leurs propres molécules organiques en utilisant l'énergie absorbée à partir de la lumière solaire. Tous les autres organismes obtiennent les molécules organiques dans leur environnement.
- 2. La dégradation des molécules organiques libère de l'énergie.** Dans toutes les cellules vivantes, l'énergie chimique, qui est stockée dans les molécules organiques, est libérée lorsque ces molécules sont dégradées dans les voies cataboliques. Une certaine quantité de cette énergie est perdue sous forme de chaleur. L'énergie restante est utili-

sée pour synthétiser de l'ATP (voir figure 2-6B). L'ATP est la source d'énergie immédiatement utilisable pour le travail cellulaire (i.e., les processus requérant de l'énergie tels que synthèse, mouvement, transport).

a) L'ATP est synthétisé à partir de l'ADP et de phosphate inorganique (Pi) avec un apport d'énergie cellulaire. Cette réaction de phosphorylation stocke l'énergie chimique dans les liaisons phosphate instables (riches en énergie) de l'ATP.



b) L'ATP est hydrolysé lorsque la liaison phosphate est rompue, libérant l'énergie emmagasinée. L'énergie libérée lors de l'hydrolyse de l'ATP est capturée par transfert du phosphate à une autre molécule. Ceci incite l'autre molécule à travailler.



3. La synthèse de l'ATP est réalisée lors du catabolisme du glucose, glucide à six carbones. L'énergie, contenue dans le glucose, est libérée par deux voies cataboliques.

a) La respiration cellulaire est la voie catabolique la plus courante et la plus efficace. La respiration requiert la présence d'oxygène (i.e., condition aérobie).

b) La fermentation est une voie moins efficace et ne requiert pas d'oxygène. La fermentation a lieu chez de nombreux micro-organismes et elle s'effectue, sous des conditions anaérobies, dans certaines cellules d'organismes supérieurs.

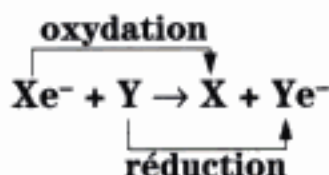
4. Le catabolisme du glucose met en jeu des réactions de transfert d'électrons. Le transfert des électrons à haute énergie, à partir du glucose, libère l'énergie nécessaire à la synthèse d'ATP.

a) Les réactions couplées d'oxydo-réduction (réactions « rédox ») impliquent le transfert des électrons d'un composé à un autre.

(1) L'oxydation a lieu lorsqu'un composé organique perd (donne) des électrons.

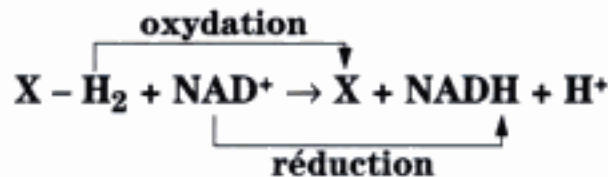
La réduction se produit lorsqu'un composé gagne (accepte) des électrons.

(2) Dans une réaction rédox, une molécule donne des électrons et l'autre les accepte. Le donneur d'électrons est oxydé et l'accepteur d'électrons est réduit. Xe^- est oxydé en X, Y est réduit en Ye^- .



(3) Les ions hydrogène (protons) sont transférés en même temps que les électrons dans de nombreuses réactions rédox.

b) **Les électrons riches en énergie** sont libérés du glucose et transférés à des molécules spéciales appelées **transporteurs d'électrons** dont font partie les coenzymes que sont le nicotinamide adénine dinucléotide (NAD^+) et le flavine adénine dinucléotide (FAD^+).



2

4. Respiration cellulaire et fermentation

A. Vue d'ensemble

1. **La réaction globale** de la respiration cellulaire est



2. Respiration

a) Lors de la respiration, **le glucose est complètement oxydé en dioxyde de carbone**. Les réactions, en échelons, rédox libèrent une quantité substantielle d'énergie pour la synthèse d'ATP. Globalement, environ 40% de l'énergie libérée à partir du glucose sont stockés dans l'ATP, le reste étant perdu sous forme de chaleur.

b) Dans la respiration, l'oxygène est l'accepteur final d'électrons. **L'oxygène est réduit en eau.**

c) **La voie de la respiration comporte trois étapes** : la glycolyse, le cycle de Krebs et la chaîne de transport des électrons (CTE).

d) La **majeure partie** de la production d'ATP a lieu lors de l'étape finale de la respiration.

e) La glycolyse se déroule dans le cytoplasme de la cellule alors que les deux dernières étapes s'effectuent dans la mitochondrie.

3. **Fermentation**. Durant la fermentation, le glucose n'est que partiellement oxydé et une molécule organique est réduite. Seule une petite partie de l'ATP est produite car le cycle de Krebs et la CTE n'ont pas lieu.

B. La glycolyse

1. La glycolyse peut être résumée par l'équation suivante :



2. Les réactions de la voie glycolytique (figure 2-7A) sont catalysées par des enzymes, dans le cytoplasme.

A. GLYCOLYSE

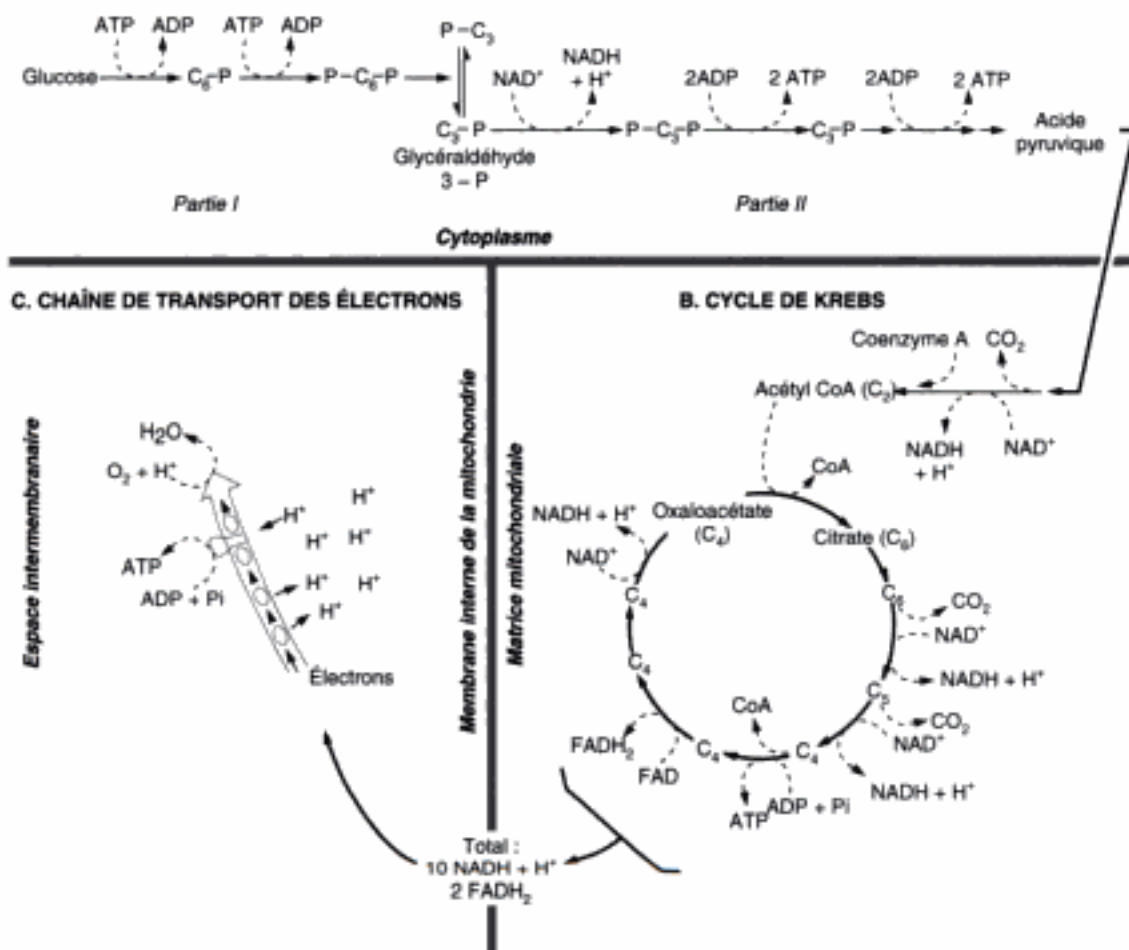


Figure 2.7 Vue d'ensemble de la glycolyse, du cycle de Krebs et de la chaîne de transport des électrons (CTE)

Noter l'interrelation des voies et le flux de produits d'une voie à la suivante. Noter également que, dans la partie II de la glycolyse, la voie se déplace vers la droite, car seul le glycéraldéhyde-3-phosphate (G3P) continue directement la voie glycolytique. ADP = adénosine diphosphate ; ATP = adénosine triphosphate ; FAD = flavine adénine dinucléotide ; $FADH_2$ = flavine adénine dinucléotide réduit ; P_i = phosphate inorganique ; NAD^+ = nicotinamide adénine dinucléotide oxydé ; $NADH$ = nicotinamide adénine dinucléotide réduit.

- Dans la première partie de la glycolyse, ou **phase préparatoire**, deux molécules d'ATP sont consommées. Chaque molécule de glucose est divisée en deux molécules d'un composé à trois carbones, le glycéraldéhyde-3-phosphate (G3P).
- Dans la seconde partie de la glycolyse, ou **phase oxydative**, quatre molécules d'ATP sont synthétisées par transfert direct d'un groupement phosphate, d'une molécule intermédiaire, à l'ADP. Ce mode de synthèse de l'ATP se réclame d'une **phosphorylation liée au substrat** :



où **X** est une molécule organique.

(1) G3P est oxydé et deux molécules de NAD^+ sont réduites en NADH.

(2) Deux molécules d'acide pyruvique, composé à trois carbones, sont produites.

3. Les principaux résultats de la glycolyse sont les suivants :

a) Un gain net de deux molécules d'ATP par molécule de glucose.

b) Le transfert d'électrons riches en énergie du glucose au NADH.

c) **L'oxydation partielle du glucose pour former de l'acide pyruvique** (la majeure partie de l'énergie chimique du glucose se retrouve dans ce composé organique).

(1) L'acide pyruvique est converti en acétyl coenzyme A (acétyl CoA).

a) En présence d'oxygène, l'acide pyruvique est transporté du cytoplasme à l'intérieur de la mitochondrie où il est converti en un composé à deux carbones, **l'acétyl CoA**.

b) Un carbone est prélevé à l'acide pyruvique, puis est libéré sous forme de dioxyde de carbone, l'acide pyruvique est oxydé et le NAD^+ est réduit. Le composé à deux carbones résultant s'unit alors au coenzyme A pour former l'acétyl CoA.

(2) Pour chaque molécule de glucose qui entre dans la glycolyse, deux molécules d'acétyl CoA intègrent l'étape suivante de la respiration, le cycle de Krebs.

C. Le cycle de Krebs (voir figure 2-7B) est également connu sous le nom de cycle de l'acide citrique ou de cycle de l'acide tricarboxylique (CAT).

1. Le cycle de Krebs s'effectue dans le **compartiment interne de la mitochondrie ou matrice**.

2. Cette **série de réactions** peut être résumée comme suit :

a) Chaque molécule d'acétyl CoA (composé à deux carbones) entre dans le cycle de Krebs en se combinant avec un composé à quatre carbones (i.e., l'oxalo-acétate). Ceci se traduit par la formation d'un composé à six carbones (i.e., le citrate).

b) Dans les étapes suivantes, deux molécules de dioxyde de carbone sont enlevées au citrate, laissant un composé à quatre carbones. Les réactions, en échelons, rédox oxydent les intermédiaires organiques et réduisent trois molécules de NAD^+ et une molécule de FAD^+ respectivement en NADH et $FADH_2$.

c) Une molécule d'ATP est synthétisée par phosphorylation au niveau du substrat.

d) L'oxalo-acétate, à quatre carbones, est régénéré et se retrouve prêt pour se combiner à une nouvelle molécule d'acétyl CoA.

3. Les **principaux résultats** du cycle de Krebs sont les suivants :

- a) Une production de deux molécules d'ATP par molécule de glucose.
- b) Le transfert des électrons riches en énergie aux NADH et FADH₂.

D. La chaîne de transport des électrons (CTE, voir figure 2-7C)

1. La CTE est composée d'une série de transporteurs d'électrons localisés dans la membrane interne de la mitochondrie (i.e., les crêtes). Ces transporteurs sont principalement des protéines avec des groupements prosthétiques (e.g., cytochrome lié au fer).

2. Les coenzymes réduits issus de la glycolyse et du cycle de Krebs (10 NADH et 2 FADH₂ par molécule de glucose) donnent des électrons riches en énergie à la CTE. Les électrons sont transférés d'un transporteur au suivant lors d'une série de réactions rédox.

a) **L'accepteur final est l'oxygène.** L'oxygène a une affinité si élevée pour les électrons qu'il les arrache littéralement à la chaîne.

b) **L'oxygène est réduit en eau** lorsque, en bout de chaîne, il accepte les électrons combinés aux ions hydrogène (protons).

3. **Les pompes à protons et le gradient de protons.** Lorsque le flux d'électrons descend la chaîne, NADH et FADH₂ libèrent des protons dans la matrice mitochondriale. Certaines protéines de la membrane interne peuvent pomper les protons dans l'espace intermembranaire (i.e., l'espace situé entre les membranes mitochondriales interne et externe). **Ces pompes engendrent un gradient de concentration électrochimique**, de part et d'autre de la membrane interne, imperméable aux protons. Le gradient de protons est une source d'énergie potentielle.

4. **L'énergie est libérée lorsque le flux de protons descend le gradient de concentration établi de part et d'autre de la membrane interne.** Les protons ne peuvent traverser la membrane qu'en passant par un complexe protéique transmembranaire appelé ATP synthétase. Cette enzyme utilise l'énergie libérée pour phosphoryler l'ADP.

a) La **chimiosmose** est le terme qui désigne le couplage du flux de protons à la synthèse de l'ATP.

b) Durant la chimiosmose, trois molécules d'ATP sont engendrées pour chaque molécule de NADH. Par ailleurs, deux molécules d'ATP sont produites pour chaque molécule de FADH₂, ce qui donne des électrons à l'extrémité de la CTE (tableau 2-1 ; figure 2-8).

5. La **phosphorylation oxydative** est le terme par lequel l'élaboration d'ATP en utilisant l'énergie des réactions rédox de la CTE est décrite.

Tableau 2.1 Résumé de la respiration cellulaire

Voies	Localisation	Apport	Production (par glucose)
Glycolyse	Cytoplasme	Glucose	2 acides pyruviques, 2 NADH, 2 ATP
Cycle de Krebs	Espace interne de la mitochondrie (matrice)	2 acides pyruviques convertis en 2 acétyl CoA	2 NADH (étape de la conversion de l'acide pyruvique), 6 NADH, 2 FADH ₂ , 2 ATP
Chaîne de transport des électrons et phosphorylation oxydative	Membrane interne de la mitochondrie (crêtes)	10 NADH, 2 FADH ₂	32 ATP (12 H ₂ O)
			Total : 36 ATP / glucose

Acétyl CoA = acétyl coenzyme A ; ATP = adénosine triphosphate ; FADH₂ = flavine adénine dinucléotide réduit ; NADH = nicotinamide adénine dinucléotide réduit.

L'essentiel de la production d'ATP de la respiration est fourni par la phosphorylation oxydative.

E. Voies anaérobies

1. Les voies anaérobies permettent au catabolisme du glucose d'avoir lieu en l'absence d'oxygène. Le tableau 2-2 compare la respiration cellulaire à la fermentation.
2. Certains micro-organismes sont capables d'effectuer une **respiration anaérobie** dans laquelle un composé inorganique est l'accepteur final d'électrons à la place de l'oxygène (par exemple, certaines bactéries réduisent des sulfates ou des nitrates dans le sol).
3. La **fermentation** est une voie anaérobie qui se réalise tant chez de nombreux micro-organismes différents que dans certains types de cellules d'organismes supérieurs (e.g., fibres musculaires humaines). Toute la voie se déroule dans le cytoplasme et il n'y a pas de CTE.
 - a) Les voies de la fermentation débutent par la glycolyse et se poursuivent par la production de produits de déchets de la fermentation (figure 2-8). Ce processus oxyde partiellement le glucose en une molécule organique qui est ensuite réduite par le NADH. La majeure partie de l'énergie du glucose reste dans une molécule organique.
 - b) Deux molécules d'ATP par molécules de glucose sont produites par phosphorylation liée au substrat lors de la glycolyse.
4. Les divers types de voies de la fermentation diffèrent par les produits de déchets élaborés (voir figure 2-9).
 - a) Dans la fermentation alcoolique, l'acide pyruvique libère du dioxyde de carbone et forme un composé à deux carbones, l'acétal-

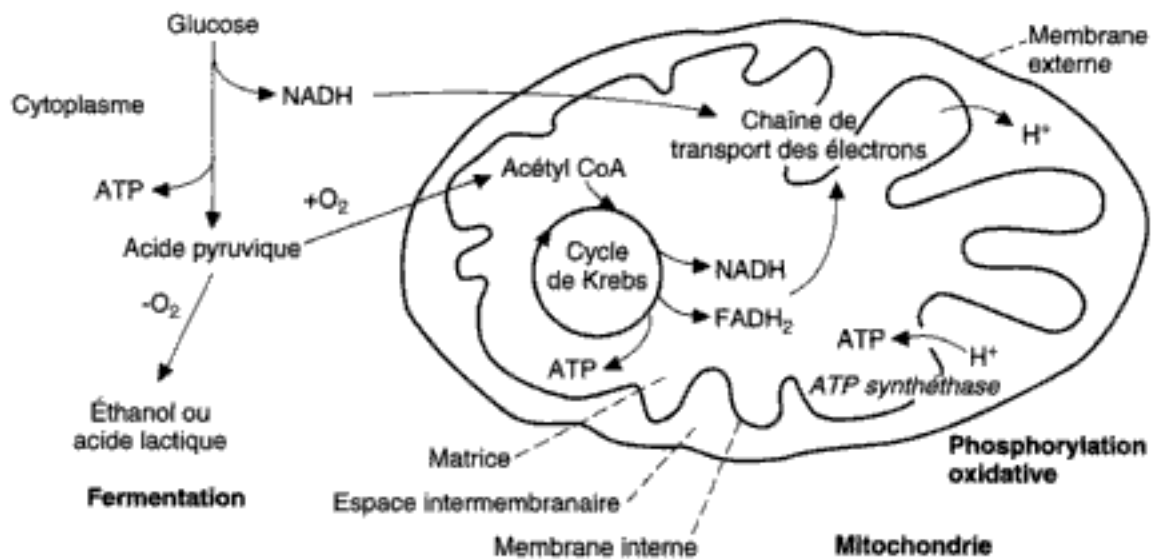


Figure 2.8 Résumé de la respiration et de la fermentation

déhyde. L'acétaldéhyde est réduit pour former de l'éthanol, et le NADH est oxydé pour régénérer du NAD^+ .

- b) Dans la fermentation lactique,** l'acide pyruvique est réduit en acide lactique et le NADH est oxydé. Certaines cellules, telles les fibres musculaires humaines, peuvent passer de la respiration cellulaire à la fermentation lactique lorsque l'oxygène est épuisé.

F. Régulation de la respiration

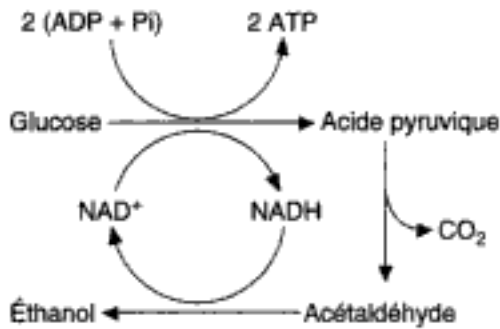
- 1. Dans les cellules, la respiration est interconnectée avec le métabolisme de toutes les molécules organiques** (figure 2-10A).
- a)** Les glucides, les protéines et les lipides alimentaires peuvent entrer dans la respiration à différents niveaux. Par exemple, les glucides complexes sont convertis en glucose,

Tableau 2.2 Comparaison de la respiration et de la fermentation

	Respiration cellulaire	Fermentation
Conditions de développement	Aérobie	Aérobie ou anaérobie
Chaîne de transport des électrons	Oui	Non
Accepteur final d'électrons et d'hydrogène	Oxygène	Organique (e.g., acétaldéhyde ou acide pyruvique)
Mode de fabrication de l'ATP	En grande partie par phosphorylation oxydative, pour certains par phosphorylation liée au substrat	Phosphorylation liée au substrat

ATP = adénosine triphosphate

A. Fermentation alcoolique



B. Fermentation lactique

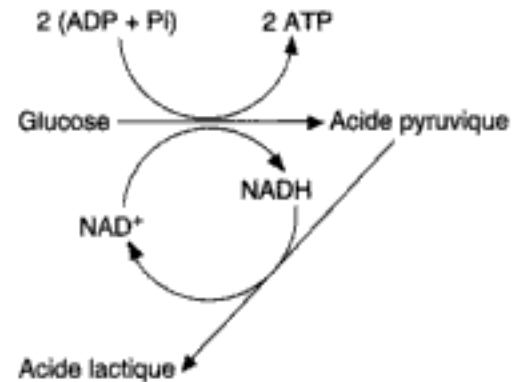
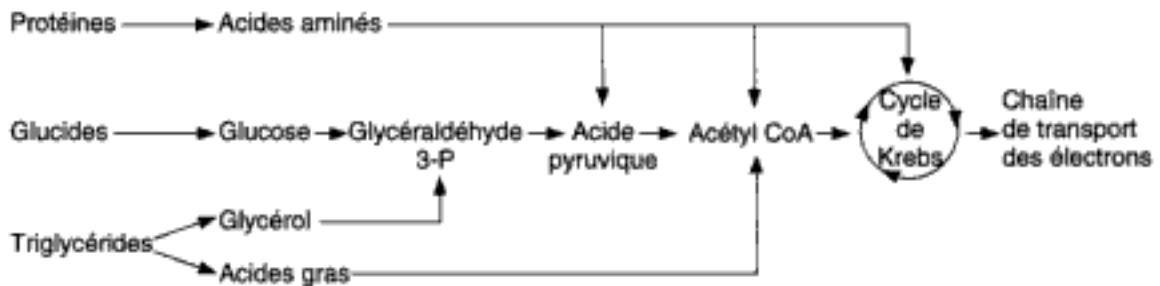


Figure 2.9 A) Fermentation alcoolique. B) Fermentation lactique

A



B

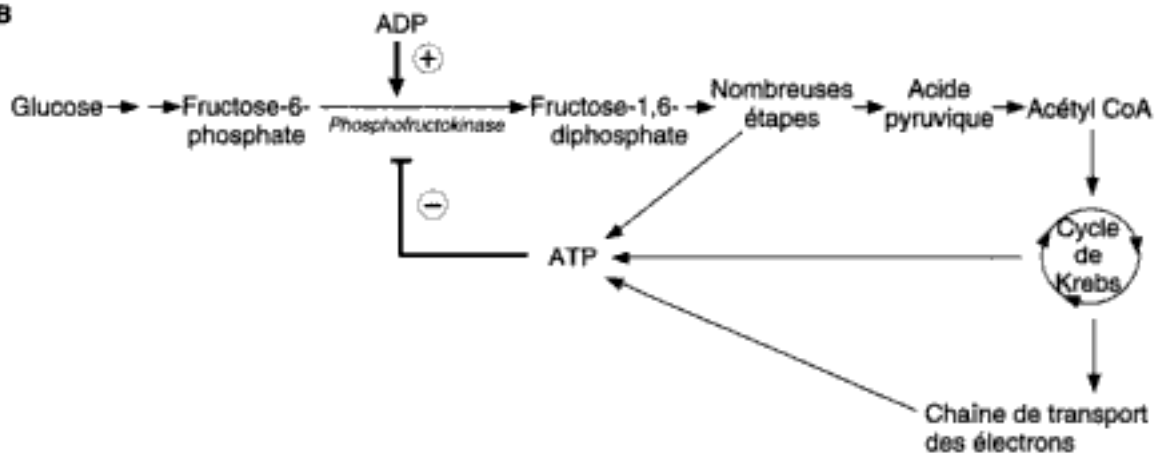


Figure 2.10 A) Le métabolisme des molécules organiques et B) un exemple de régulation métabolique par la phosphofructokinase, l'enzyme limitante de la glycolyse.

Les protéines sont converties en acide pyruvique ou en produits intermédiaires du cycle de Krebs et les lipides sont convertis en produits intermédiaires glycolytiques ou en acétyl.

- b) Inversement, des produits organiques intermédiaires peuvent quitter la respiration pour entrer dans les voies de synthèse (anabolisme). Dans cette voie, les glucides peuvent être convertis en lipides, les lipides peuvent être convertis en protides et ainsi de suite.

2. La **vitesse de la respiration** est contrôlée par les enzymes qui catalysent les diverses réactions de la voie. Parmi ces enzymes, de nombreuses sont allostériques et ont des sites leur permettant de se lier tant à des activateurs qu'à des inhibiteurs. **Une des principales réactions vitesse limitante est la troisième étape de la glycolyse qui est catalysée par la phosphofructokinase** (voir figure 2-10B). Cette étape est parfois considérée comme le « pacemaker » (stimulateur) de la respiration.

- a) La phosphofructokinase est inhibée par l'ATP et est activée par l'ADP. Ainsi, lorsqu'il y a beaucoup d'ATP, la respiration ralentit.
- b) Lorsque l'ATP est épuisé, la concentration d'ADP augmente et l'enzyme est réactivée. Ceci accélère la vitesse de la respiration.

3

Fonctions et structure de l'ADN

1. Fonctions et structure de l'ADN

A. Fonctions

1. **L'acide désoxyribonucléique (ADN)** est le matériel héréditaire (génétique) de toutes les cellules. L'ADN est répliqué avec exactitude lors de chaque naissance de cellule. Lorsque la cellule se divise, chaque cellule fille hérite d'une copie identique d'ADN parental. Ainsi l'ADN fournit-il les instructions à toutes les futures générations d'entités cellulaires et à l'ensemble des organismes pluricellulaires.
2. **L'ADN contrôle les activités des cellules** en déterminant la synthèse des enzymes et des autres protéines. Les protéines constituent la classe de molécules ayant la plus grande diversité de fonctions cellulaires essentielles ; elles catalysent et régulent les réactions métaboliques, fournissent les matériaux bruts aux structures cellulaires, permettent le mouvement, interagissent avec l'environnement et les autres cellules et contrôlent la croissance et la division des cellules.
3. **Un gène est l'unité d'information de l'ADN.** Chaque gène détermine la séquence des acides aminés d'une protéine particulière. Des milliers à des millions de gènes différents sont nécessaires pour élaborer toutes les protéines indispensables à une seule cellule.

B. Structure de l'ADN

1. L'ADN appartient à une classe de molécules organiques appelées **acides nucléiques**. Les sous-unités des acides nucléiques sont appelées **nucléotides** (figure 3-1A). Chaque nucléotide a la composition suivante :
 - a) du **désoxyribose**, qui est un glucide à cinq carbones
 - b) un **groupement phosphate**, qui est fixé au carbone 5' du désoxyribose

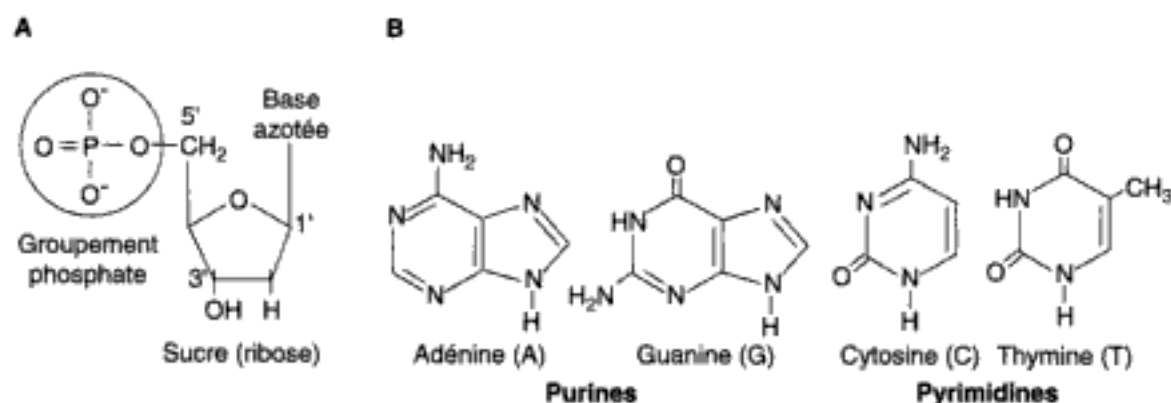


Figure 3.1 A) Structure d'un nucléotide. B) Structure des bases azotées — les purines et pyrimidines

La structure de l'uracile, base pyrimidique trouvée dans l'ARN, n'est pas représentée. Noter la présence d'un groupement hydroxyle sur le carbone 3' du nucléotide.

- c) une **base azotée**, dont on décrit quatre types différents : deux purines et deux pyrimidines (voir figure 3-1B).
2. **Les nucléotides sont liés ensemble par des liaisons phosphodiester** établies entre le phosphate d'un nucléotide et le glucide du nucléotide suivant (figure 3-2A). L'alternance glucide-phosphate forme le long squelette de la chaîne nucléotidique, ou polynucléotide. Les bases se lient aux carbones 1' de chaque glucide de la chaîne.
3. Les deux extrémités d'un polynucléotide diffèrent l'une de l'autre, ce qui en fait une **molécule polaire**. Les extrémités sont désignées selon le numéro du carbone du glucide terminal. Un groupement phosphate est à l'extrémité 5' et un groupement hydroxyle à l'extrémité 3'.
4. **La double hélice de l'ADN** (voir figure 3-2B)
 - a) La structure de l'ADN fut déduite, au tout début des années 1950, par James WATSON et Francis CRICK. Ils construisirent un modèle d'ADN en utilisant les informations fournies par les expériences de Rosalind FRANKLIN et d'autres scientifiques.
 - b) L'ADN est une **molécule faite d'un double brin**, ou duplex (= forme répliquative), constituée de deux polynucléotides appariés. L'appariement résulte des interactions spécifiques qui se réalisent entre les bases de chaque brin de l'ADN. La structure ressemble à une échelle de corde dans laquelle les squelettes glucide-phosphate constituent les montants et les paires de bases les barreaux rigides.
 - c) La molécule d'ADN s'enroule pour former une **hélice** ayant 10 bases par tour de spire.
 - d) Les deux brins d'ADN sont appariés en polarité opposée 5'→3'. En d'autres termes, les deux brins sont **antiparallèles**. L'extrémité 5'

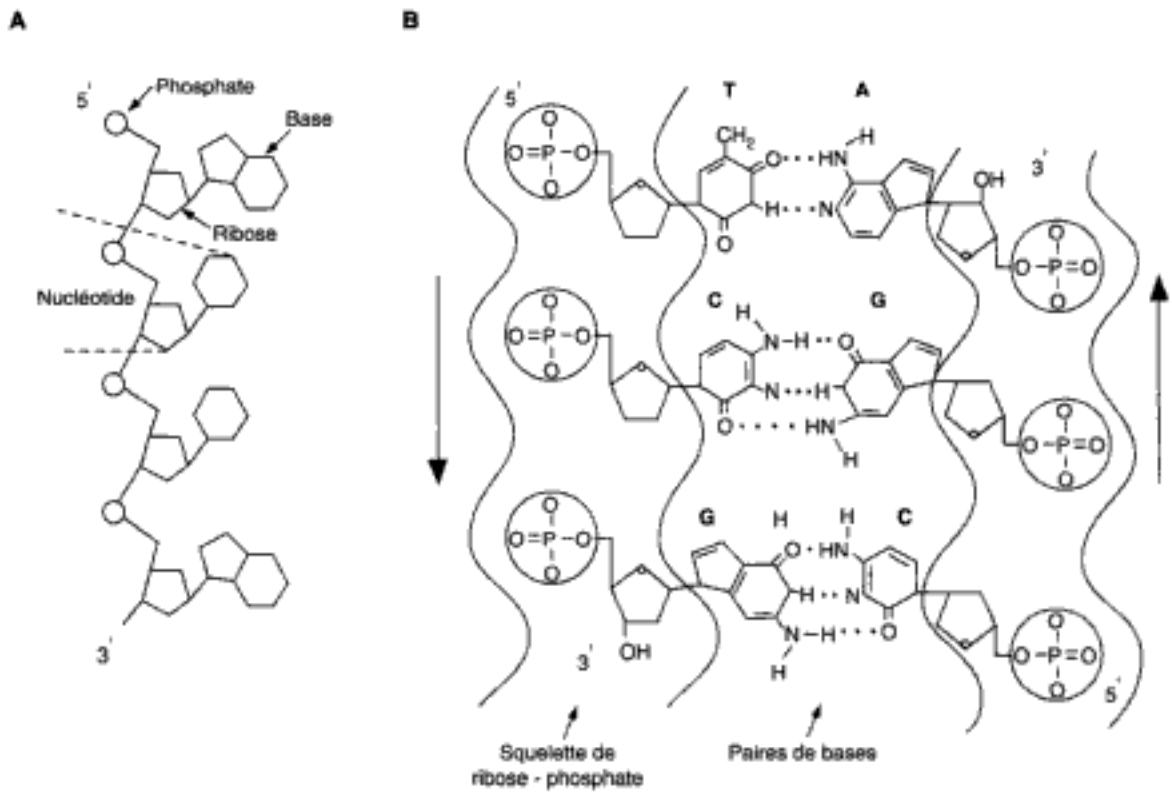


Figure 3.2 A) Le squelette de l'ADN est constitué de glucides et de phosphates.
B) Détails de l'ADN au niveau moléculaire

d'un brin est appariée à l'extrémité 3' de l'autre brin et ils s'allongent en directions opposées.

5. Les deux brins d'une molécule d'ADN sont appariés par des **paires de bases complémentaires**. Chaque nucléotide d'un brin s'unit à un nucléotide spécifique (complémentaire) de l'autre brin.
 - a) **Les purines et les pyrimidines.** Les bases puriques (i.e., adénine, guanine) sont plus grandes que les bases pyrimidiques (i.e., thymine, cytosine), plus petites, et s'apparient toujours avec elles. **L'adénine (A) s'apparie toujours, de façon spécifique, avec la thymine (T) et la guanine (G) s'associe toujours avec la cytosine (C).**
 - b) **L'appariement des bases complémentaires** résulte de la formation de liaisons hydrogène (liaisons non-covalentes, faibles) entre les paires spécifiques. Chaque paire A-T forme deux liaisons hydrogène alors que chaque paire G-C en forme trois. Une molécule d'ADN est stabilisée par le grand nombre de liaisons hydrogène présentes sur toute sa longueur.
6. La variation, dans l'ADN, se situe dans la séquence linéaire des paires de bases tout au long des molécules. L'extraordinaire diversité des

séquences est due aux milliers, ou millions, de paires de bases (pb) présentes tout au long des molécules d'ADN.

2. Réplication (= duplication) de l'ADN

A. Vue d'ensemble

Modèle (ou matrice). Une des caractéristiques clés de l'ADN est sa capacité à être répliqué, de telle sorte que des copies identiques de gènes puissent passer à la génération suivante. Chaque molécule d'ADN fournit son propre modèle à la réplication.

1. **Chaque brin sert de modèle** à la synthèse d'un nouveau brin d'ADN complémentaire en fonction des règles de l'appariement spécifique des bases.
2. Une enzyme, appelée **ADN polymérase**, synthétise l'ADN en liant chaque nucléotide nouvellement apparié à l'extrémité 3' d'un brin d'ADN en croissance.
3. **Réplication semi-conservative.** Dans chaque molécule fille d'ADN, un brin parental (ancien) est conservé et il est apparié à un brin nouvellement synthétisé. Ce mode de réplication est dit semi-conservatif (figure 3-3). À l'inverse, un mode conservatif donnerait une molécule d'ADN parentale intacte et une molécule d'ADN totalement nouvelle. La réplication de l'ADN est semi-conservative.
4. **La réplication de l'ADN est extrêmement rapide et fidèle.** À peu près 500 nucléotides sont répliqués par seconde et il n'y a environ qu'une erreur sur 1 milliard de pb. C'est un exploit étonnant si on considère la taille d'un génome eucaryote (i.e., environ 3 milliards de pb) à l'intérieur d'un seul noyau cellulaire.

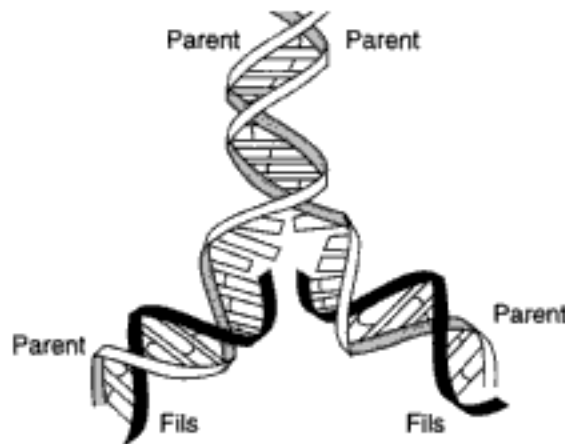


Figure 3.3 La réplication semi-conservative de l'ADN

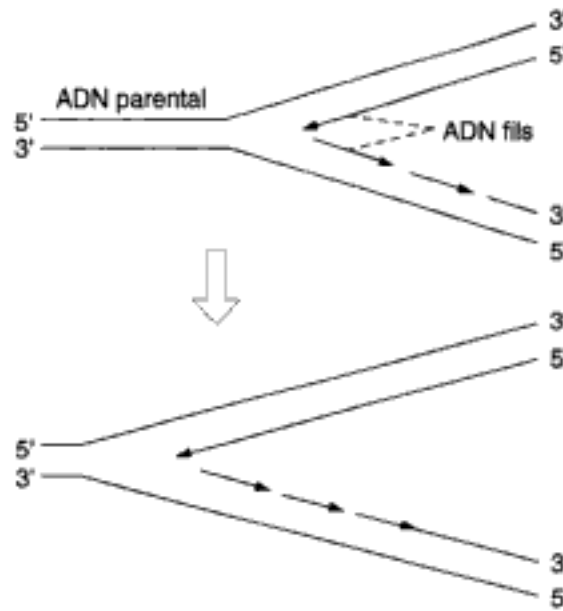


Figure 3.4 La réplication de l'ADN se produisant aux fourches de réplication

B. Le mécanisme de réplication de l'ADN fut d'abord observé chez la bactérie *Escherichia coli*. Un processus similaire se déroule chez les eucaryotes.

- 1. Initiation.** La réplication débute lorsque des protéines spécifiques reconnaissent des sites particuliers d'un chromosome appelés **origines de réplication** et s'y fixent. Il y a de multiples origines sur chaque chromosome linéaire d'eucaryote, mais il n'y en a qu'une sur l'unique chromosome circulaire d'*E. coli*.
- 2. Déroulement.** La réplication s'effectue au niveau de structures appelées **fourches de réplication**. Chaque fourche se déplace dans une direction lorsqu'un grand nombre de séquences parentales sont rendues disponibles pour la réplication. Plusieurs événements ont lieu à la fourche de réplication (figure 3-4).
 - a) Direction 5'→3'.** L'appariement des bases à un brin parental modèle détermine la séquence des nucléotides dans chaque nouveau brin d'ADN. Le nucléotide complémentaire est lié à l'extrémité 3' du nouveau brin par une molécule d'ADN polymérase qui se déplace le long du modèle. Ainsi, un nouveau brin d'ADN est-il toujours synthétisé dans la direction 5'→3'.
 - b) Élongation continue.** À la fourche de réplication, un brin s'allonge continuellement dans la direction conductrice 5'→3' vers la fourche en déplacement. C'est ce qui est appelé **synthèse du brin précoce**.
 - c) La synthèse du brin tardif** correspond au mécanisme d'élongation discontinue qui se produit dans le second brin modèle. Étant donné qu'un brin modèle est antiparallèle, un nouveau brin doit être

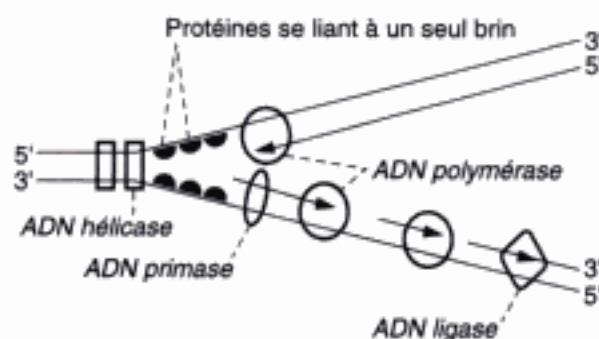


Figure 3.5 Les enzymes impliquées à la fourche de réplication

formé dans une direction globale $3' \rightarrow 5'$, ce qui n'est pas le sens normal.

- (1) Les **fragments d'Okazaki**, qui sont de courts fragments d'ADN, sont synthétisés en direction $5' \rightarrow 3'$, à distance de la fourche de réplication.
- (2) Lorsque la fourche se déplace, des fragments d'Okazaki supplémentaires sont ajoutés en direction $3' \rightarrow 5'$, c'est-à-dire dans le sens du déplacement de la fourche de réplication, si bien que la croissance globale s'effectue dans cette direction.
- d) Des molécules différentes d'ADN polymérase synthétisent les brins précoce et tardif à la fourche de réplication.

C. Enzymes impliquées dans la réplication de l'ADN

1. **Complexe de réplication.** Le processus de la réplication implique la participation de nombreuses enzymes différentes. Un complexe de réplication est constitué lorsque plusieurs de ces différentes enzymes s'unissent à l'ADN polymérase.
2. **Enzymes de la fourche de réplication** (figure 3-5)
 - a) L'**ADN hélicase** déroule les deux brins d'ADN parentaux en face du complexe de réplication.
 - b) Des **protéines se fixant à un seul brin** s'unissent aux brins parentaux séparés afin de les empêcher de se réappairier.
 - c) Une **ARN primase** (protéine initiatrice) démarre une synthèse *de novo* de chaque nouveau fragment d'Okazaki du brin tardif. La primase synthétise une courte amorce d'ARN, complémentaire au modèle d'ADN nouvellement exposé. L'amorce d'ARN fournit l'extrémité $3'$ dont l'ADN polymérase a besoin pour commencer à ajouter les nucléotides de l'ADN.
3. Une **exonucléase** enlève l'amorce d'ARN entre les fragments.
4. Une **ADN ligase** réunit les fragments d'Okazaki ensemble pour rendre le nouveau brin d'ADN continu.

4

Expression des gènes : de l'ADN à la protéine

1. Vue d'ensemble

A. L'acide désoxyribonucléique (ADN)

Dans un gène, l'information est définie par la séquence linéaire des nucléotides présents dans l'ADN. Un seul gène peut posséder, sur toute sa longueur, des centaines et des centaines de milliers de nucléotides.

B. L'acide ribonucléique (ARN)

L'ADN ne construit pas directement une protéine ; il envoie des instructions à la « machinerie » chargée de la synthèse protéique par l'intermédiaire de l'ARN.

1. La **transcription** est le processus par lequel l'ARN est copié à partir de l'ADN. Après que l'ADN ait été transcrit dans le noyau, l'ARN gagne le cytoplasme.
2. La **traduction** est le processus par lequel l'information portée par l'ARN est utilisée pour synthétiser des protéines. La traduction a lieu dans le cytoplasme.

C. Expression des gènes

On dit qu'un gène, qui a subi une transcription et une traduction, est exprimé (i.e., l'information donnée par l'ADN est utilisée pour faire une protéine).

D. Le **dogme central** de la biologie moléculaire correspond au schéma :

ADN → ARN → protéine

Tableau 4.1 Comparaison des acides désoxyribonucléique (ADN) et ribonucléique (ARN)

Caractéristiques	ADN	ARN
Glucide	Désoxyribose	Ribose
Bases	A, G, C, T	A, G, C, U
Structure	Deux brins	Un brin
Processus de synthèse	Réplication à partir d'un modèle d'ADN	Transcription à partir d'un modèle d'ADN
Fonctions	Stockage et hérédité de l'information concernant les protéines	Transmission de l'information venant de l'ADN au cytoplasme pour la traduction

A = adénine ; C = cytosine ; G = guanine ; T = thymine ; U = uracile

2. Transcription

A. Mécanisme de la transcription

- Structure de l'ARN.** L'ARN est un acide nucléique dont la structure est similaire à celle de l'ADN. Cependant, il présente plusieurs différences importantes (tableau 4-1).
 - Dans l'ARN, c'est un **groupement hydroxyle** qui est fixé au carbone 2' du glucide à cinq carbones au lieu d'un hydrogène.
 - L'ARN contient la base azotée **uracile (U)** à la place de la thymine. L'uracile s'apparie avec l'adénine.
 - Les molécules d'ARN n'ont qu'un **seul brin polynucléotidique**.
- La **transcription d'un gène** implique la synthèse d'un brin complémentaire d'ARN à partir d'un brin d'ADN modèle (figure 4-1).
 - L'ARN **polymérase** est l'enzyme responsable de la synthèse de l'ARN.
 - Séquence promotrice** (= site promoteur). La transcription commence lorsque l'ARN polymérase se lie à une séquence spécifique de l'ADN proche du point de départ du gène. Ce site, où a lieu le démarrage de la transcription, est appelé promoteur. Un seul brin du duplex d'ADN contient le site promoteur si bien que seul ce brin est transcrit.
 - Dérroulement.** La transcription s'effectue lorsque l'ARN polymérase se déplace le long du modèle d'ADN, en liant des nucléotides complémentaires dans la chaîne en croissance. Le seul changement dans la règle d'appariement des bases (par rapport à la réplication de l'ADN) réside dans le fait que l'uracile est incorporé dans l'ARN en face de l'adénine du modèle d'ADN.

- d) **Élongation.** Comme dans la synthèse d'ADN, le nouveau brin d'ARN s'allonge dans le sens 5'→3'. Le « commencement » d'un gène (le promoteur) est donc appelé extrémité 5' du gène. En conséquence, la fin d'un gène est son extrémité 3'.
- e) **Le duplex d'ADN « s'ouvre »** au cours de la transcription active ce qui permet à de nombreuses molécules d'ARN polymérase de transcrire le gène en même temps.
- f) **La séquence de terminaison.** La transcription s'arrête au niveau d'une séquence de terminaison de l'ADN. Là, l'ARN polymérase quitte le modèle ADN et libère l'ARN nouvellement synthétisé.
3. **Régions codantes et non codantes.** Un gène entier est transcrit en une molécule continue d'ARN. Cependant, la plupart des gènes d'eucaryotes contiennent des fragments d'ADN qui ne codent pas pour des acides aminés. Les régions d'un gène, codantes pour des protéines, sont appelées **exons** (elles sont exprimées en protéines) et les régions non codantes sont appelées **introns** (séquences interposées).
- a) **Excision-épissage de l'ARN.** Alors que la molécule d'ARN nouvellement synthétisée est encore dans le noyau, les introns sont éliminés (excisés) et les exons sont réunis (épissés) ensemble (figure 4-2). Ce processus donne une séquence, codant les protéines, continue.
- b) **« Cap » 5' et queue poly A.** L'ARN est alors modifié à ses extrémités 5' et 3' afin de le protéger de la dégradation. Ces modifications comprennent l'adjonction d'un « cap » 5', qui est du guanosine triphosphate (GTP) modifié, et d'une queue 3' de polyadénylate (poly A).
4. **Régions non transcrites.** Dans une cellule eucaryote, les gènes ne constituent qu'une petite fraction de l'ADN. Les gènes sont souvent

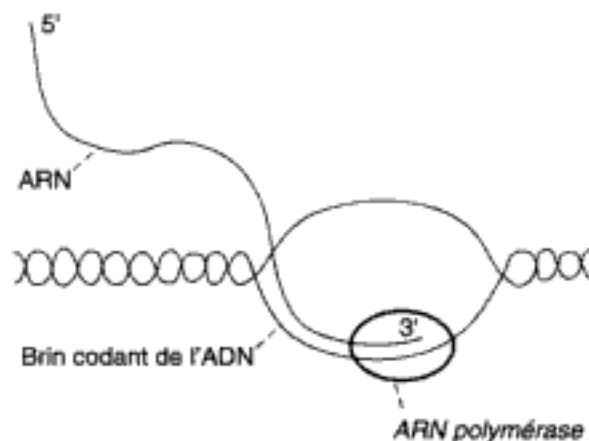


Figure 4.1 Transcription de l'acide ribonucléique (ARN) à partir d'un modèle d'acide désoxyribonucléique (ADN)

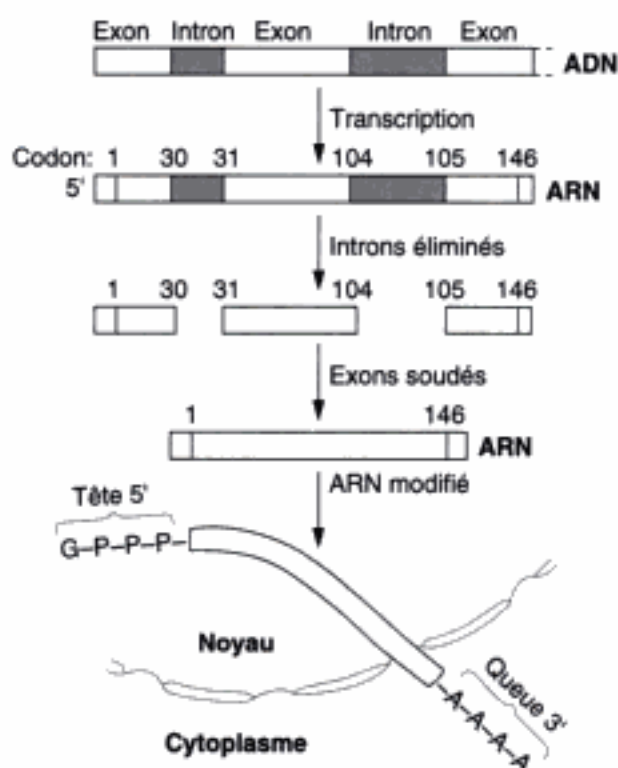


Figure 4.2 Modification post-transcriptionnelle de l'ARN. Noter l'excision-épissage (« splicing ») de l'ARN et la mise en place d'un « cap » (tête) et d'une « queue » polyadénylate (poly A)

séparés par de grandes régions d'ADN non codant qui ne sont jamais transcrites.

B. Régulation de la transcription

1. La transcription est un processus hautement régulé. De nombreux gènes du génome d'un organisme ne sont pas exprimés dans toutes les cellules ou à tous moments.
 - a) **Les organismes unicellulaires** ont une vie brève et sont sensibles à leur environnement ; ils doivent se reproduire rapidement pour assurer la survie de leur population. Dans ces cellules, la régulation des gènes évite l'élaboration de produits inutiles (qui pourraient constituer une perte d'énergie) et permet une adaptation rapide aux changements de l'environnement.
 - b) Chez **les organismes pluricellulaires**, de nombreux gènes ne sont exprimés qu'à des stades spécifiques du développement et uniquement dans des cellules spécifiques. Cette **expression différentielle des gènes** aboutit à l'apparition des nombreux types de cellules spécialisées des tissus, des organes et des systèmes qui constituent l'organisme dans son entier.

2. La transcription est généralement contrôlée par la **fixation de protéines régulatrices à des séquences régulatrices spécifiques de l'ADN** localisées à proximité ou à l'intérieur d'un gène. C'est cette interaction moléculaire qui soit stimule soit inhibe la capacité de l'ARN polymérase à transcrire le gène.
3. **Régulation transcriptionnelle dans les cellules procaryotes** (bactéries)
 - a) **L'expression constitutive** décrit le fait que certains gènes sont toujours transcrits (non régulés).
 - b) Les gènes, qui codent pour des protéines ayant des fonctions métaboliques apparentées, sont regroupés ensemble dans des **opérons** (tableau 4-2). Les **gènes structuraux** sont les gènes qui codent pour les produits polypeptidiques de l'opéron. Lorsqu'ils sont exprimés, ces gènes sont transcrits dans un ARN continu.
 - (1) Un opéron permet un contrôle coordonné de l'expression de multiples produits de gènes en ayant **un système régulateur** pour tous ses gènes structuraux.
 - (2) Pour démarrer la transcription, la **site promoteur** fixe une ARN polymérase. Cette séquence d'ADN est localisée à l'extrémité 5' des gènes structuraux.
 - (3) La **séquence opératrice**, ou **site opérateur**, est une séquence spécifique d'ADN localisée entre le promoteur et les gènes structuraux. Une protéine régulatrice, appelée **répresseur**, peut se lier à l'opérateur et empêcher l'ARN polymérase de transcrire les gènes. L'interaction répresseur-opérateur est un commutateur « on-off » qui contrôle la transcription de l'opéron.
 - c) Un **opéron répressible** est éteint (réprimé) par activation du répresseur. Un exemple est fourni par l'**opéron tryptophane (Trp)** qui code pour des enzymes intervenant dans la voie de synthèse du tryptophane. Le tryptophane sert de co-répresseur de l'opéron Trp : lorsque le tryptophane commence à s'accumuler, il se lie au répresseur et l'active. Ceci réprime l'opéron, empêchant ainsi la synthèse d'un excès de tryptophane.
 - d) Un **opéron inductible** est allumé (induit) par inactivation du répresseur. L'exemple est donné par l'**opéron lactose [Lac]** (figure 4-3) qui code pour des enzymes intervenant dans la voie catabolique du lactose (e.g., β -galactosidase). Lorsque le lactose est présent, il se lie au répresseur et l'inactive. Ceci active l'opéron, permettant ainsi la dégradation du lactose.
4. Les exemples présentés dans la figure 4-3 illustrent un **contrôle négatif** dans lequel est mise en jeu une **protéine répresseur** qui stoppe la transcription. Le **contrôle positif** implique une **protéine activatrice**, qui stimule la transcription. Un exemple, tiré de l'opéron

Tableau 4.2 Résumé concernant l'opéron

Fonction de l'opéron	Exemple	Transcription	Contrôle
Synthèse d'un produit	Opéron Trp	Induit, sauf si le produit est en excès	Répressible
Catabolisme (dégradation) d'un aliment	Opéron Lac	Réprimé, sauf si l'aliment est disponible	Inductible

Lac = lactose ; Trp = tryptophane.

Lac, est l'activité de la protéine activatrice des catabolites (PAC). La PAC stimule la transcription en interagissant avec l'ARN polymérase de la région du promoteur.

- La **PAC** est activée lorsqu'il est nécessaire d'utiliser le lactose comme source d'énergie du fait de l'indisponibilité du glucose.
- La PAC est inactivée par interaction avec l'**adénosine monophosphate cyclique (AMPc)** dont la concentration augmente lorsque les niveaux de glucose diminuent.

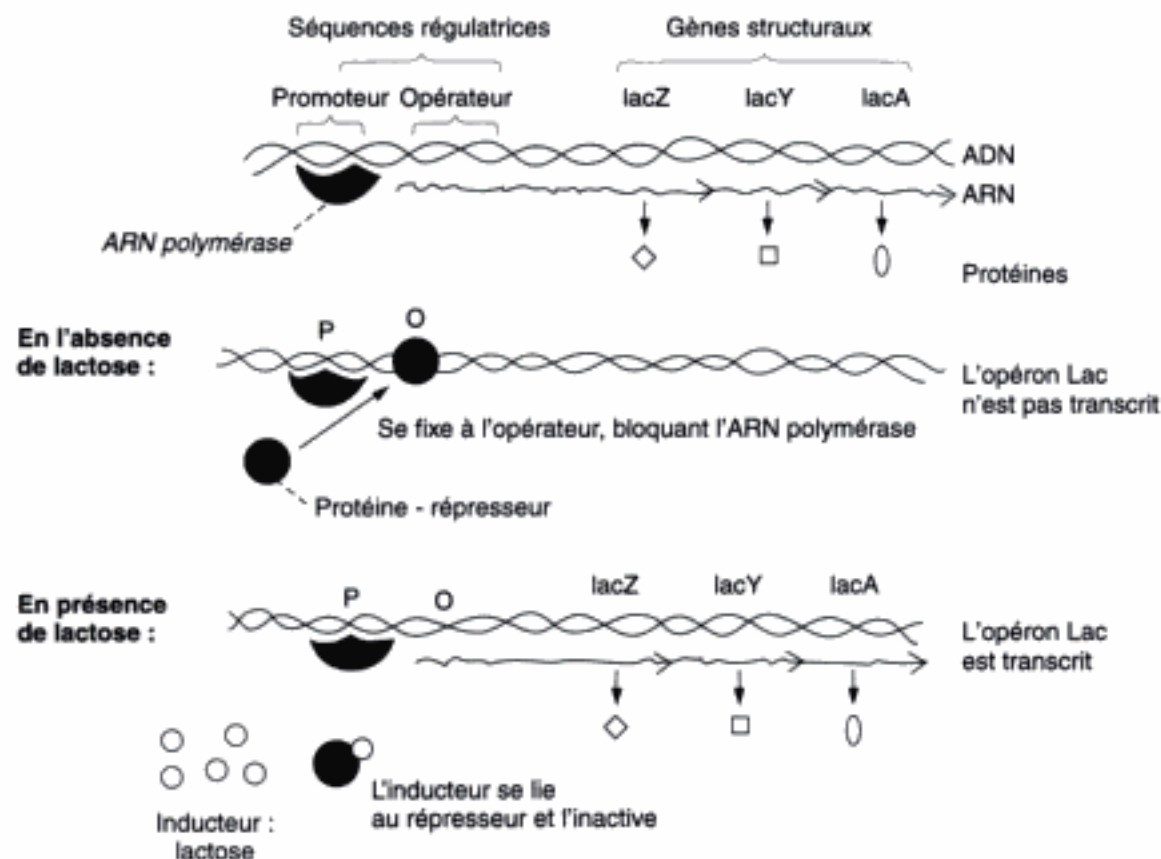


Figure 4.3 L'opéron lactose (Lac) est un exemple classique de régulation de la transcription

5. Régulation de la transcription dans les cellules eucaryotes (tableau 4-3)

a) Empaquetage de l'ADN. L'activité transcriptionnelle est influencée par l'organisation de l'ADN dans les chromosomes. Chaque chromosome non répliqué est composé d'une seule molécule d'ADN linéaire, associée à des protéines spéciales appelées **histones**. Les histones servent à emballer des quantités énormes d'ADN dans le noyau. La capacité d'un gène à être transcrit est influencée par la condensation ou l'empaquetage de l'ADN. On peut citer les exemples suivants :

(1) **L'hétérochromatine** correspond à certaines régions du chromosome condensées en permanence. L'hétérochromatine ne contient que peu, ou pas, de gènes activement transcrits.

(2) **Les régions ouvertes ou en boucles** des chromosomes contiennent souvent des gènes activement transcrits.

b) Régulation chez les eucaryotes. Comme chez les bactéries, la transcription est régulée par fixation de protéines spécifiques aux séquences d'ADN situées au niveau du promoteur du gène ou à proximité. Par exemple, les facteurs de transcription sont des protéines qui aident l'ARN polymérase à se fixer au promoteur.

c) La fixation de protéines spécifiques à des régions appelées amplificateurs augmente la vitesse de la transcription. Les séquences des amplificateurs peuvent être localisées aux extrémités 5' ou 3' d'un gène, à proximité d'un gène, loin d'un gène ou même à l'intérieur du gène.

Tableau 4.3 Comparaison de la régulation des gènes chez les procaryotes et les eucaryotes

	Procaryotes	Eucaryotes
Importance générale	Économie, efficacité (croissance rapide, durée de vie courte)	Spécificité cellulaire et coopération (organismes pluricellulaires)
Organisation des gènes	2 500 gènes environ ; pas d'introns ; peu de protéines associées à l'ADN ; gènes co-transcrits en opérons	100 000 gènes environ ; des introns et des exons ; ADN empaqueté avec des protéines ; gènes transcrits séparément
Mécanismes régulateurs	Les gènes ont des régions régulatrices partagées pour un contrôle coordonné rapide (mécanismes de répression et d'induction)	De nombreux niveaux de régulation (e.g., empaquetage des chromosomes, facteurs de transcription, production d'ARNm, traduction, production de protéines)
Transcription et traduction	Simultanées ; les deux ont lieu dans le cytoplasme	Séparées dans le temps et dans l'espace
ARNm	Rapidement dégradé	Stabilité contrôlée

C. Types d'ARN (tableau 4-4)

1. L'ARN messager (ARNm) est transcrit à partir d'un gène et contient l'information concernant la séquence des acides aminés d'une protéine. L'ARNm est le lien essentiel entre un gène et son produit protéique. Après leur synthèse dans le noyau, les molécules d'ARNm gagnent le cytoplasme où elles sont traduites par la « machinerie » assurant la synthèse protéique.

a) Le code génétique (tableau 4-5). L'ARNm définit une séquence d'acides aminés conformément au code génétique. Dans ce code, chaque groupe de trois nucléotides (triplet) spécifie un acide aminé.

(1) Chacun des triplets nucléotidiques est appelé **codon**. Par exemple, la séquence d'ARNm suivante :

$\overbrace{\text{A U G}} \quad \overbrace{\text{C G A}} \quad \overbrace{\text{G G C}} \quad \overbrace{\text{A A A}} \quad \overbrace{\text{U U U}}$

définit la séquence d'acides aminés suivante :

mét — pro — gly — lys — phé

(2) Au total, 61 codons spécifient les acides aminés, dont le codon d'initiation AUG, qui code pour la méthionine. Trois codons « stop » (codons d'arrêt ou codons non-sens : UAA, UAG, UGA) signalent à la « machinerie » de synthèse des protéines qu'elle doit arrêter la traduction. Les codons stop ne codent pour aucun acide aminé.

b) Propriétés du code génétique

(1) **Le code est redondant.** Il y a plus de 60 codons différents, mais il n'y a que 20 acides aminés. Par conséquent, deux codons, voire plus, peuvent spécifier le même acide aminé. Ces codons redondants diffèrent au niveau du nucléotide situé en deuxième ou troisième position. Par exemple CUU, CUC, CUA et CUG spécifient tous la leucine.

(2) **Le code ne présente aucune ambiguïté.** Chaque codon définit un, et seulement un, acide aminé.

(3) **Le code est presque universel.** Presque tous les organismes possèdent le même code génétique.

Tableau 4.4 Résumé concernant l'ARN

Types d'ARN	Fonctions
ARNm	Transporte l'information concernant la séquence d'acides aminés, de l'ADN aux ribosomes
ARNt	Apporte les acides aminés à l'ARNm sur le ribosome (traducteur de la synthèse protéique)
ARNr	Composant structural du ribosome (ayant aussi une certaine activité enzymatique)

Tableau 4.5 Un exemple de code génétique

Codon ADN	TAC	CAG	TTC	ATG
Codon ARNm	AUG	GUC	AAG	UAG
Anticodon	UAC	CAG	UUC	aucun
Acide aminé	Méthionine	Valine	Lysine	Stop ou non-sens

2. L'ARN ribosomique (ARNr) ne code pour aucun polypeptide. L'ARNr fonctionne comme un constituant structural des ribosomes, structures sur lesquelles sont synthétisées les protéines (voir 3).

3. L'ARN de transfert (ARNt) ne code, lui aussi, pour aucune protéine. L'ARNt fonctionne dans la synthèse protéique comme un « interprète » entre l'ARNm et les acides aminés. Un ARNt différent met en relation chaque codon de l'ARNm avec l'acide aminé adéquat.

a) Structure. Les molécules d'ARNt ont une structure caractéristique en feuille de trèfle (figure 4-4).

b) Types. Il y a de nombreux types d'ARNt, chacun possédant un triplet nucléotidique différent, appelé **anticodon**, dans une région spécifique de sa molécule.

[1] L'anticodon de chaque ARNt peut reconnaître un codon spécifique de l'ARNm en appariant les bases complémentaires.

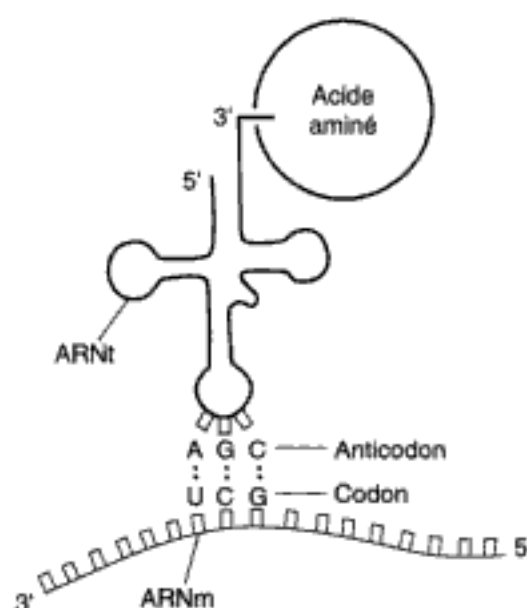


Figure 4.4 La fixation d'un complexe ARN de transfert (ARNt)-acide aminé à un brin d'ARN messager (ARNm). Noter que l'anticodon de l'ARNt se lie au codon de l'ARNm.

Tableau 4.6 Comparaison de la transcription et de la traduction

	Transcription	Traduction
Modèle	ADN	ARN
Localisation	Noyau (cytoplasme des procaryotes)	Cytoplasme ; ribosomes libres ou fixés au réticulum endoplasmique
Molécules impliquées	Nucléotides de l'ARN ; ADN, ARN polymérase, facteurs de transcription	Acides aminés, ARNt, ARNm, ribosomes, enzymes, ATP, GTP, facteurs d'initiation et d'élongation
Enzymes indispensables	ARN polymérase, enzymes traitant l'ARN	Aminoacyl-ARNt synthétase, peptidyl transférase
Contrôle : démarrage et arrêt	Facteurs de transcription au site promoteur (séquence TATA), région du terminateur	Facteurs d'initiation, AUG, codons non-sens, facteurs de libération
Produit	ARNm	Protéine
Processus impliqué	Traitement de l'ARN : Cap 5' et queue poly A, excision-épissage de l'ARN (élimination des introns, réunion des exons)	Pliage spontané, ponts disulfure, arrangement et modifications de certains polypeptides

GTP = guanosine triphosphate

(2) Certains ARNt peuvent se lier à deux ou trois codons redondants du fait d'un appariement incorrect ou « mal assuré » au niveau du troisième nucléotide de l'ARNt.

c) **L'aminocyl-ARNt synthétase**, enzyme qui **active les acides aminés**, attache un acide aminé spécifique à l'extrémité 3' de chaque ARNt. Pour chaque acide aminé, il y a une aminocyl-ARNt synthétase spécifique qui le rend apte à participer à la synthèse protéique.

3. Traduction (tableau 4-6)

A. Structure et fonction des ribosomes

1. Structure

a) **Les ribosomes sont présents dans le cytoplasme sous forme de deux sous-unités (une grande et une petite)**. Les ribosomes sont composés pour 60% environ d'ARNr et pour 40% environ de protéines. Les deux sous-unités se rassemblent et se lient à l'ARNm lorsqu'il sort du noyau.

b) Chaque ribosome a **un site de liaison pour l'ARNm** et **deux sites de liaison pour l'ARNt**.

(1) Le **site P** (site peptidyl ou donneur) fixe l'ARNt portant la chaîne polypeptidique en voie de formation.

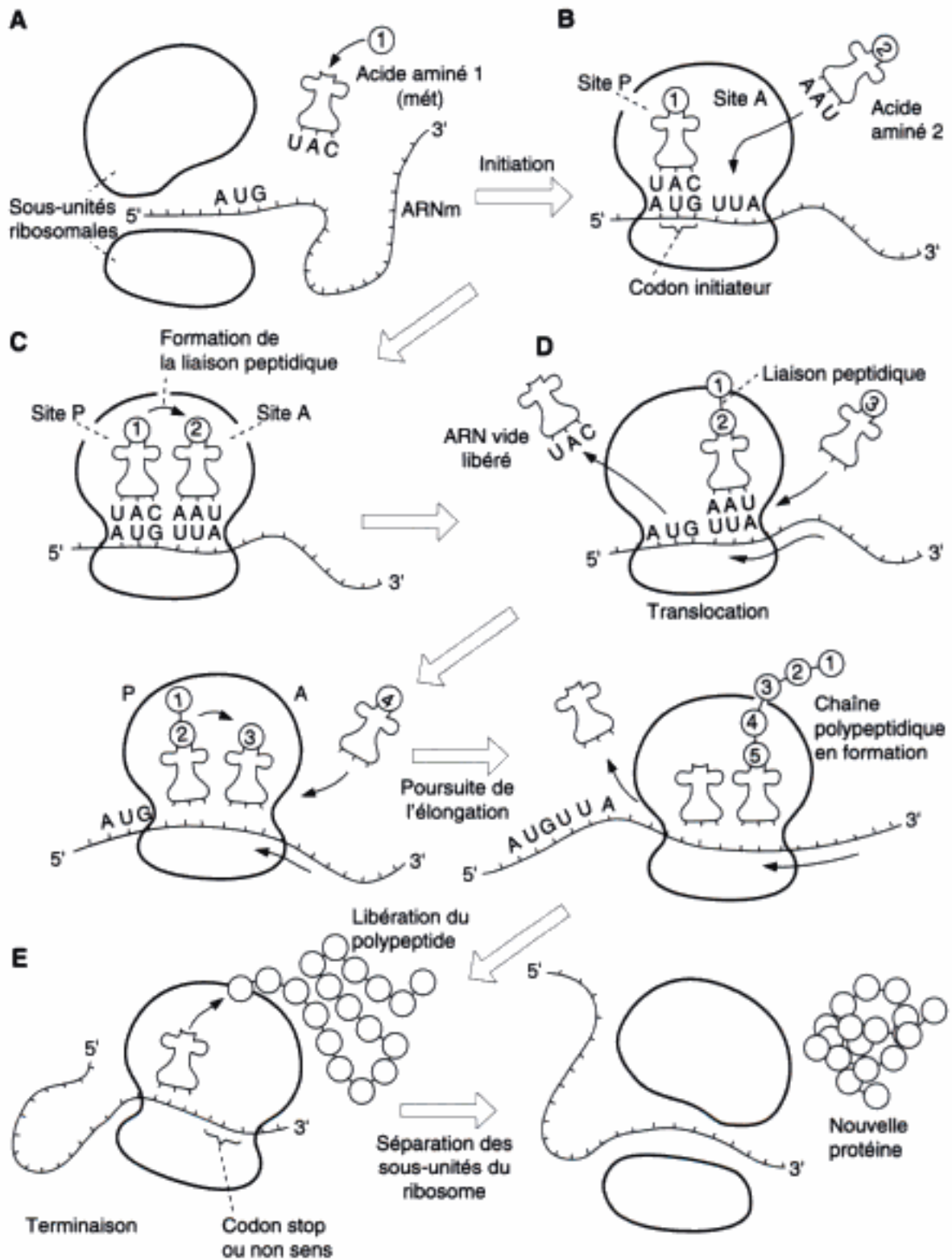


Figure 4.5 Mécanisme de la synthèse protéique (traduction). A) Initiation. B) à D) Élongation. E) Terminaison

(2) Le **site A** (site aminoacyl ou accepteur) accueille l'ARNt portant l'acide aminé suivant qui doit être ajouté à la chaîne.

2. **Fonction.** Les ribosomes fixent ensemble les molécules d'ARNt et d'ARNm et des enzymes catalysent l'adjonction d'un nouvel acide aminé à la chaîne polypeptidique en croissance.

B. Le mécanisme de la synthèse protéique

1. **Initiation** (figure 4-5A). Grâce à des protéines, appelées facteurs d'initiation, les sous-unités du ribosome s'assemblent et fixent l'ARNm au codon d'initiation AUG. L'ARNt initiateur (portant la méthionine) se fixe au codon d'initiation du site P du ribosome.

2. **L'élongation** s'effectue par addition d'acides aminés, un par un, à l'acide aminé initial. L'élongation est un processus à trois étapes qui requiert un apport d'énergie venant de l'hydrolyse du GTP.

a) L'anticodon d'un nouvel ARNt activé se fixe au codon complémentaire du site A du ribosome (voir figure 4-5B)

b) Le premier acide aminé du site P (mét) forme une liaison peptidique avec le nouvel acide aminé et les acides aminés liés sont alors transférés à l'ARNt fixé au site A (voir figure 4-5C). Lors des étapes suivantes de l'élongation, la chaîne polypeptidique en croissance est transférée à l'ARNt du site A lorsque chaque nouvel acide aminé est ajouté.

c) L'ARNt vide (débarassé de son acide aminé) est libéré du site P. Ensuite, l'ARNt se déplace du site A au site P, le long de l'ARNm auquel il est fixé. C'est l'étape appelée **translocation** (voir figure 4-5D).

(1) Le codon suivant, amené au site A, devient disponible pour l'ARNt adéquat qui arrive.

(2) L'ARNm se déplace au travers du ribosome dans le sens 5'→3'.

3. **La terminaison de la chaîne polypeptidique** a lieu lorsque l'un des trois codons stop atteint le site A (voir figure 4-5E). Grâce à un facteur de libération, la chaîne polypeptidique complète est libérée de l'ARNt situé au site P et du ribosome (qui se dissocie).

4. Pendant et après la synthèse, **un traitement** est habituellement requis pour rendre un polypeptide fonctionnel. Les événements de ce traitement comprennent un pliage spécifique du polypeptide, une formation de liaisons disulfure (structure tertiaire), des modifications chimiques ou une combinaison avec d'autres polypeptides.

5

Microbiologie

1. Les virus

A. Structure virale

Les virus sont des particules de matériel génétique entouré par des protéines. Une particule virale complète est un **virion**.

1. Les **génomés viraux** diffèrent selon les virus. Le matériel génétique peut être l'ADN ou l'ARN, à double brin ou à simple brin, linéaire ou circulaire. La taille des génomes va de quelques gènes seulement à des centaines de gènes.
2. La **capside** protéique est le revêtement externe du virion.
 - a) Les capsides présentent des formes diverses, notamment hélicoïdale, polyédrique ou complexe. Certaines capsides, simples, sont composées de sous-unités répétitives d'un type unique de protéine.
 - b) Chez certains virus, la capside est entourée par une **enveloppe** de lipides membranaires. L'enveloppe dérive habituellement d'une cellule hôte.
3. **Taille**. Les virus ont de 20 à 300 nm de diamètre. Le plus petit est environ 500 fois plus petit qu'une hématie humaine ; le plus grand a, à peu près, la taille des cellules bactériennes les plus petites.

B. Cycle vital des virus

1. Les **virus sont des parasites intracellulaires obligés** ; c'est-à-dire qu'ils ne peuvent se reproduire qu'à l'intérieur d'une cellule vivante (l'hôte).
 - a) **Différents types de virus infectent des types de cellules différents**, dont des cellules bactériennes, animales ou végétales. Dès qu'ils ont pénétré dans une cellule, les virus peuvent commander la machinerie cellulaire pour produire de nouveaux virions (se reproduire).

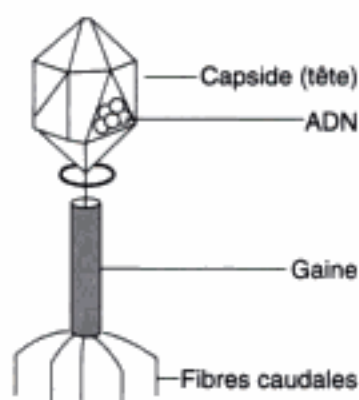


Figure 5.1 La structure d'un bactériophage

- b) Certains virus peuvent s'intégrer dans le génome de l'hôte au lieu de se reproduire immédiatement après l'infection. Le génome viral intégré peut ensuite se répliquer avec l'ADN de l'hôte. Pendant ce temps, l'infection virale peut ne pas être détectée.
 - c) Après leur reproduction, les nouveaux virus quittent la cellule hôte pour infecter d'autres cellules.
- 2. Les **bactériophages** sont des virus qui infectent les cellules bactériennes. Les mieux étudiés sont les phages T-pairs et les phages lambda qui infectent *Escherichia coli*.
 - a) **Structure.** Les bactériophages ont une structure complexe composée de nombreuses protéines (figure 5-1). Les phages T-pairs ont une tête icosaédrique (vingt faces) qui renferme le matériel génétique (ADN), une gaine et des fibres caudales.
 - b) **Mécanisme d'infection :** Un bactériophage infecte une cellule en se liant par ses fibres caudales à des récepteurs spécifiques de la membrane cellulaire. La gaine se contracte et l'ADN est injecté dans la cellule, en laissant la composante protéique à l'extérieur.
- 3. Le **cycle lytique** est un des deux cycles alternatifs des bactériophages (figure 5-2A). Le **phage lambda** illustre le cycle lytique.
 - a) Dès que l'ADN viral est à l'intérieur de la cellule, il est transcrit et traduit par la machinerie de la cellule hôte. Une enzyme virale dégrade l'ADN de l'hôte.
 - b) Lorsque l'ADN viral a été répliqué et que les protéines ont été synthétisées, les nouveaux virions sont assemblés.
 - c) La cellule hôte se lyse et libère le phage. Ce cycle complet peut prendre de 20 à 30 minutes et il peut en résulter 100 fois plus de phages.

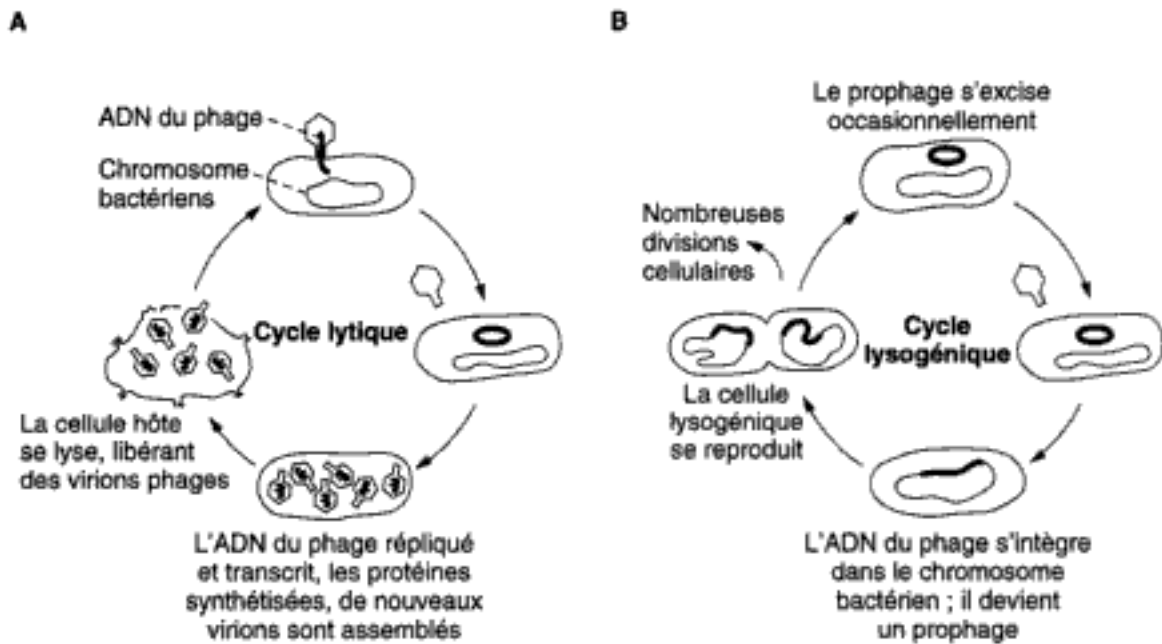


Figure 5.2 Les cycles lytique (A) et lysogénique (B) des bactériophages

4. Le **cycle lysogénique** est le cycle de vie de bactériophages modérés (voir figure 5-2B). Ces phages peuvent se reproduire sans tuer la cellule hôte.
 - a) Une fois à l'intérieur, l'ADN viral est intégré dans l'ADN de l'hôte et devient un **prophage**. Au cours de cette étape, les gènes viraux sont inactivés par une protéine répressive virale.
 - b) Le prophage se réplique avec le chromosome de l'hôte, puis il est transmis aux cellules filles au cours de la division cellulaire. Un prophage peut rester dans le chromosome de la cellule hôte pendant de nombreuses générations. Pendant ce temps, la cellule hôte peut exprimer de nouvelles propriétés du fait de la présence du prophage.
 - c) L'excision du prophage et l'induction du cycle lytique peuvent être spontanées ou être provoquées par un stress environnemental.
5. Les **virus animaux** sont des virus qui infectent des cellules animales dont des cellules humaines.
 - a) **Structure.** De nombreux virus animaux ont une enveloppe possédant des protubérances protéiques saillantes qui se lient aux récepteurs cellulaires. Dès que le virus est fixé, son enveloppe fusionne avec la membrane cellulaire et tout le virus (capside et génome) entre dans la cellule. Ensuite, la capsid protéique est éliminée.
 - b) Dans le **cycle reproductif**, le virus se reproduit peu de temps après l'infection. Si le génome est de l'ARN, les enzymes virales sont utilisées pour le répliquer et transcrire l'ARNm. Ensuite, la machinerie

de l'hôte synthétise de nouvelles capsides et les nouveaux virions sont assemblés. Ils sortent de la cellule hôte par bourgeonnement de sa membrane sans que la cellule se lyse obligatoirement.

- c) Certains virus animaux, ayant un génome d'ADN, peuvent s'intégrer dans le génome de l'hôte comme **provirus**. Après une période de latence, le virus peut entrer dans le cycle reproductif.

2. Les cellules procaryotes

A. Caractéristiques générales des procaryotes (tableau 5-1)

1. **Classification.** Les procaryotes constituent le règne des procaryotes ou monères. Tous les procaryotes sont des bactéries (et toutes les bactéries sont des procaryotes). Les bactéries sont des organismes simples, unicellulaires. Tous les autres organismes sont des eucaryotes (voir chapitre 6 pour une description des cellules eucaryotes).
2. **Structure.** Les cellules procaryotes n'ont pas de **noyau entouré par une membrane**. Ainsi, l'ADN n'est-il pas dans un compartiment séparé comme c'est le cas dans les cellules eucaryotes. C'est la différence structurale la plus fondamentale entre ces deux grands types de cellules.
3. Le **diamètre** de la plupart des procaryotes oscille entre 1 et 10 μm environ bien que, pour certains types, il puisse être de 0,1 μm . Par comparaison, le diamètre des cellules eucaryotes se situe entre 10 et 100 μm environ.
4. Chaque type de bactérie a une **forme cellulaire** distincte. Ces formes peuvent être des bâtonnets (bacilles), des sphères (coques) et des spirales (spirilles). Certaines cellules bactériennes se disposent elles-mêmes en chaînes, en amas ou en filaments de cellules.

Tableau 5.1 Résumé des caractéristiques des cellules procaryotes

Caractéristiques	Description
Forme et taille des cellules	Sphérique, en bâtonnet ou en spirale ; $\approx 1\text{--}5\ \mu\text{m}$ ($1/10^{\text{e}}$ de la taille d'une cellule eucaryote)
Surface cellulaire	Paroi cellulaire de peptidoglycane ; peuvent avoir une capsule pour l'adhérence ou la protection ; peuvent posséder des poils pour l'adhérence ou la conjugaison
Motilité	Se déplacent avec des flagelles ; présentent un tactisme aux stimuli
Génome	Simple molécule d'ADN circulaire avec peu de protéines associées ; peuvent avoir des plasmides ($1/1000^{\text{e}}$ de l'ADN des eucaryotes)
Croissance et reproduction	Se divisent par fission binaire ; certains gènes s'échangent par conjugaison

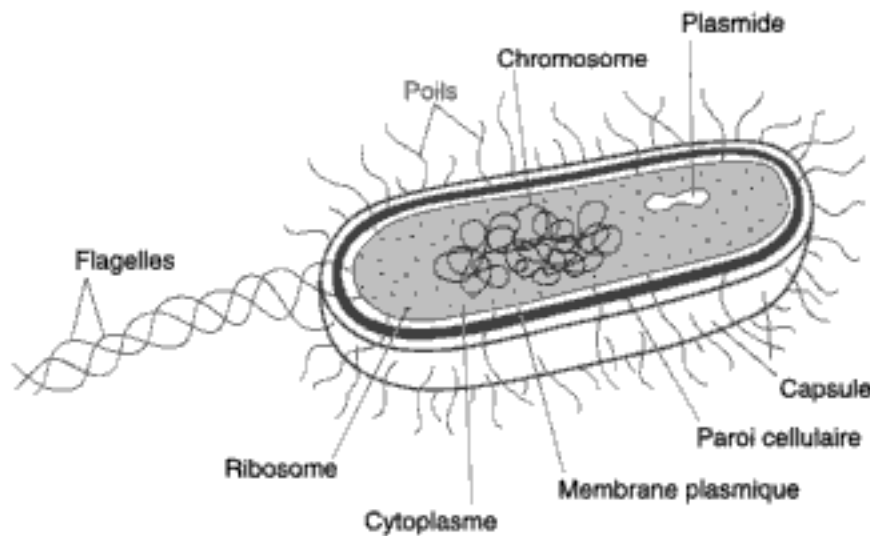


Figure 5.3 La structure d'une cellule procaryote

B. Structure des cellules procaryotes (figure 5-3)

1. Le **génom** procaryote contient moins d'ADN (environ 1 000 fois moins) que le génom eucaryote.
 - a) Le **chromosome bactérien** est une seule molécule d'ADN circulaire. Très peu de protéines sont associées à l'ADN.
 - b) Les **plasmides**. De nombreuses cellules bactériennes contiennent aussi de petites molécules d'ADN circulaires qui se répliquent indépendamment du chromosome. Ces plasmides portent quelques gènes non essentiels et peuvent être transférés entre cellules bactériennes au cours de la reproduction (conjugaison).
2. Une **membrane plasmique** semi-perméable entoure la substance intracellulaire ressemblant à un gel (cytoplasme). La membrane plasmique assure des échanges sélectifs entre la cellule et son environnement externe.
 - a) Des replis de la membrane plasmique offrent une surface supplémentaire aux réactions chimiques.
 - b) Les procaryotes ne possèdent ni membranes intracellulaires séparées ni organites entourés par une membrane.
3. La plupart des bactéries ont une paroi cellulaire inerte et rigide à l'extérieur de la membrane plasmique. Les parois cellulaires bactériennes contiennent habituellement une substance, appelée **peptidoglycane**, qui ne se retrouve pas chez les eucaryotes. La paroi externe maintient la forme de la cellule et la protège des effets des fluctuations osmotiques de l'environnement. Les parois des cellules bactériennes peuvent être endommagées par certains antibiotiques.

4. Certaines bactéries ont une enveloppe externe flexible, appelée **capsule**, à l'extérieur de la paroi cellulaire. La capsule protège les cellules contre les agresseurs, empêche la déshydratation et permet l'accrochage aux surfaces.
5. Les **poils** (pilus, pl. **pili**) sont de courtes et minces extensions des cellules bactériennes.
 - a) Les **poils communs**, ou **fimbriae**, sont utilisés pour l'accrochage.
 - b) Les **poils sexuels** sont utilisés pour le transfert du matériel génétique lors de la conjugaison.
6. Les **flagelles** sont de longues structures fixées aux cellules bactériennes, utilisées pour la motilité. Il peut y avoir un ou plusieurs flagelles soit à un pôle, soit aux deux, soit tout autour de la cellule. La rotation des flagelles propulse la cellule dans son environnement liquide.
 - a) Le **tactisme** est la réponse, sous forme de déplacement, par laquelle les bactéries se rapprochent ou s'éloignent de stimuli émanant de leur environnement. Le chimiotactisme en est un exemple : c'est le mouvement qui rapproche ou éloigne la bactérie de substances chimiques.
 - b) Une modification du sens de rotation des flagelles (dans le sens des aiguilles d'une montre ou l'inverse) provoque un changement de direction du mouvement de la cellule.
7. Les **endospores** sont des structures résistantes, formées par certaines bactéries qui, du point de vue métabolique, sont inactives. Ces formes quiescentes résistent aux stress environnementaux et peuvent survivre très longtemps. À un certain moment, les endospores peuvent germer et reproduire la cellule végétative (en se divisant).

C. Cycle de vie des procaryotes

1. La **fission binaire** est un type de division par lequel de simples cellules bactériennes se reproduisent de façon asexuée. Dans ce processus, l'unique chromosome répliqué est partagé entre les deux cellules filles qui se séparent par étranglement de la membrane plasmique. Une seule cellule peut donner rapidement toute une population de cellules identiques par fission binaire. La plupart des variations, qui apparaissent dans une population bactérienne, résultent de mutations de l'ADN.
2. La **conjugaison** est un type de reproduction des bactéries dans lequel l'ADN est transféré entre deux cellules temporairement unies (figure 5-4). Dans la conjugaison, une cellule est le **donneur** et l'autre est le **receveur** de l'information génétique.
 - a) Le **donneur est une cellule F⁺** (i.e., une cellule qui contient un plasmide appelé **facteur de fertilité** ou **facteur F**). Le facteur F

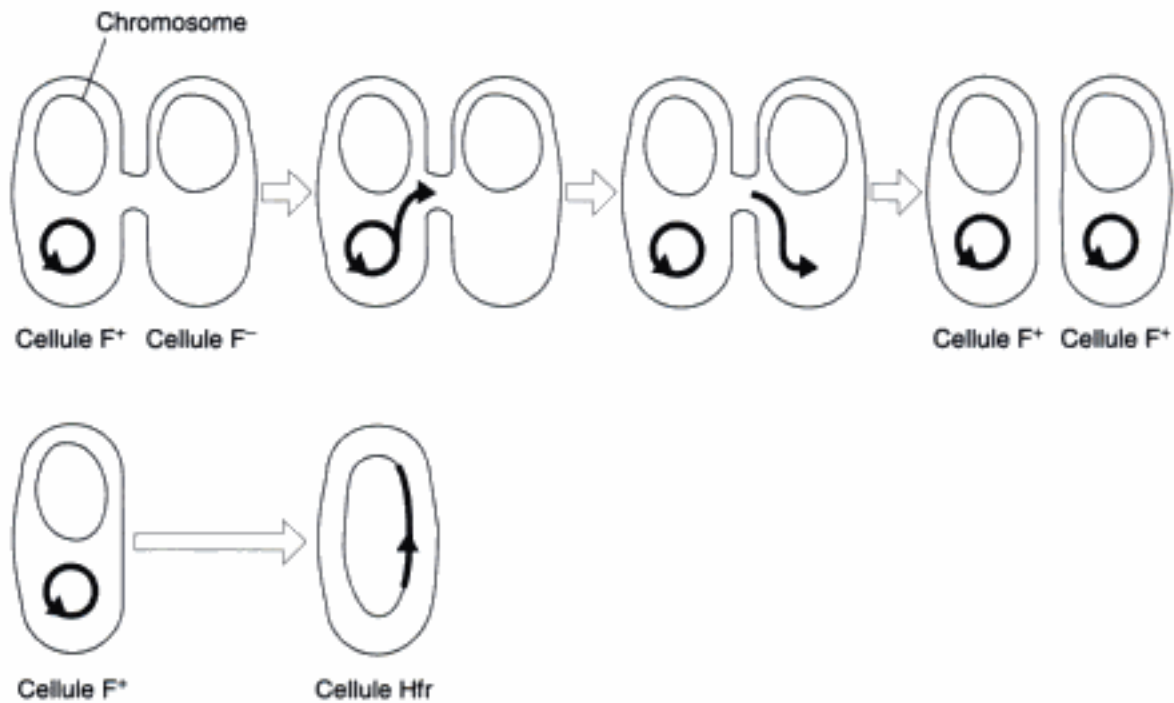


Figure 5.4 Le processus de conjugaison chez les bactéries, par lequel l'ADN est transféré entre deux cellules qui sont temporairement unies. F = Facteur de fertilité (+ = présent ; - = absent) ; Hfr = recombinaison de haute fréquence.

rend la cellule F⁺ capable de former des poils sexuels. **Le receveur est une cellule F⁻** (i.e., une cellule qui n'a pas le facteur F). La cellule F⁺ s'attache à la cellule F⁻ par ses poils sexuels.

- b) Une copie du facteur F est transférée du donneur au receveur par le pont cytoplasmique du poil. La cellule F⁻ devient ainsi une cellule F⁺ (la cellule F⁺ reste F⁺).
- c) **Le facteur F est un épisome**, c'est-à-dire un plasmide qui peut s'intégrer dans le chromosome bactérien. Lorsque ceci se produit, la cellule devient une **cellule à recombinaison de haute fréquence (Hfr)**. Les gènes du chromosome peuvent ensuite être transférés avec le facteur F intégré lors de la conjugaison.
- d) En mesurant le temps nécessaire au transfert des gènes chromosomiques au cours de la conjugaison Hfr, les scientifiques ont pu dresser la carte des localisations relatives des différents gènes sur le chromosome bactérien.

3. Deux autres processus impliquent le transfert de l'ADN chez les bactéries.

- a) La **transformation** a lieu lorsque les cellules bactériennes prennent directement l'ADN dans leur environnement. La transforma-

tion bactérienne est communément utilisée en recherche et en biotechnologie.

b) La **transduction** se produit lorsque des bactériophages incorporent l'ADN bactérien dans leur génome, transportant ensuite cet ADN dans la cellule hôte suivante. Il y a deux types de transductions.

(1) Dans la **transduction généralisée**, des fragments aléatoires de l'ADN de l'hôte sont prélevés au cours du cycle lytique.

(2) Dans la **transduction spécialisée** (effectuée seulement par des phages modérés), l'excision d'un prophage à partir du chromosome de l'hôte emporte avec lui certains gènes bactériens adjacents.

3. Les champignons

A. Caractéristiques des champignons (tableau 5-2)

1. Les champignons sont des eucaryotes ; la plupart sont pluricellulaires.
2. Tous les champignons obtiennent leurs aliments organiques par **absorption**. Les champignons se procurent leurs aliments à diverses sources.
 - a) La plupart des champignons sont **parasites** — ils absorbent leurs aliments à partir du corps d'un hôte vivant.
 - b) Certains champignons sont **saprophytes** — ils absorbent leurs aliments à partir de matière organique morte (i.e., les champignons sont des décomposeurs)
 - c) Certains champignons sont **mutualistes (symbiotiques)** — ils absorbent leurs aliments à partir d'un hôte mais ils lui apportent quelque chose en retour.

Tableau 5.2 Résumé des caractéristiques fongiques

Groupes	Exemples	Morphologie	Reproduction asexuée	Reproduction sexuée	Informations diverses
Zygomycètes	Moisissure noire du pain	Hyphes non cloisonnées	Sporanges sur hyphes aériennes	Zoosporanges	Dans le sol et les matières pourries
Ascomycètes	Champignons en « sac » ; Levures	Hyphes cloisonnées	Conidies	Ascospores, asques	Parasites des plantes, lichens et décomposeurs
Basidiomycètes	Clavaires ; Champignons à chapeau ; Champignons en console	Hyphes dicaryotes	Rare	Baside	Certains comestibles, parasites des plantes
Deutéromycètes		Moisissures	Conidies	Inconnue	Certains produisent des antibiotiques

3. D'après leur structure, on distingue **trois grandes catégories de champignons**.

- a) Les **moisissures** sont des organismes pluricellulaires, filamenteux, tels que le mildiou, la rouille, le charbon.
- b) Les **champignons charnus** sont des organismes pluricellulaires, filamenteux, qui donnent naissance à un corps reproducteur épais (charnu). Les champignons charnus comprennent les champignons à chapeau, les vesses de loup et les clavaires.
- c) Les **levures** sont des organismes unicellulaires, non filamenteux, de forme typiquement sphérique ou ovale.

B. Structures fongiques

1. Les **structures végétatives** sont composées de cellules impliquées dans le catabolisme et la croissance.

- a) Les **hyphes** sont de longs filaments, faits de cellules jointives, formant le corps (thalle) d'une moisissure ou d'un champignon charnu. Une hyphe croît à ses extrémités, pour former une masse entrelacée, appelée **mycélium**. Chaque partie du mycélium végétatif est capable de grandir.
- b) Les **cloisons** sont des parois transversales qui divisent les hyphes de la plupart des champignons en cellules mononucléées. Cependant, les hyphes de quelques champignons ne contiennent pas de cloisons (i.e., elles sont non cloisonnées). Ces **hyphes cœnocytiques** sont composées de longues cellules continues, plurinucléées.
- c) La plupart des noyaux des mycéliums fongiques sont **haploïdes**.
- d) Les champignons n'ont pas de flagelle et sont **immobiles**.

2. Le **mycélium reproducteur, ou aérien**, est la partie du champignon concernée par la reproduction. Le mycélium aérien produit des **spores** qui sont les structures reproductrices des deux modes de reproduction, asexuée et sexuée.

- a) Les spores sont généralement produites par voie sexuée* lorsque les conditions sont favorables et de façon asexuée lorsqu'elles sont défavorables (e.g., stress).
- b) Les spores sont dispersées par le vent et l'eau. Lorsque les conditions sont favorables, elles germent pour redonner le corps végétatif.

C. Cycle vital général des champignons

1. Les **spores asexuées** sont, le plus souvent, produites par le mycélium aérien d'un organisme haploïde. Les spores sont produites par des mitoses suivies de la division des cellules. Lorsque ces spores germent, elles donnent des organismes génétiquement identiques au parent.

Noter que chacun des trois groupes de champignons forme ses spores asexuées haploïdes de façon différente.

- a) Le groupe des *zygomycètes* produit des spores asexuées dans des sacs appelés **sporocystes** aux extrémités des hyphes aériennes.
- b) Les *ascomycètes* se reproduisent par **conidies** mais surtout par ascospores (après reproduction sexuée).
- c) Généralement, les *basidiomycètes* ne se reproduisent pas par voie asexuée, mais certains basidiomycètes imparfaits **se multiplient grâce à des thallospores ou à des coniospores**.

2. Le **bourgeonnement** est un type de reproduction asexuée dans lequel la cellule mère forme une protubérance (bourgeon) qui s'allonge et finalement se détache en donnant une cellule fille indépendante. Les **levures** appartiennent au groupe des champignons *ascomycètes*, mais en diffèrent par leur reproduction. Les levures sont des colonies d'organismes unicellulaires qui ne donnent pas de spores asexuées mais se reproduisent de façon asexuée par bourgeonnement.

3. Les **zygotes fongiques** sont obtenus par reproduction sexuée.

a) On observe les étapes suivantes :

- (1) Deux lignées reproductrices de signe opposé de la même espèce de champignon se conjuguent par fusion des hyphes de chacun des organismes.
- (2) Un noyau haploïde de la cellule donneuse entre dans la cellule receveuse et les deux noyaux fusionnent. Cette étape est différée chez certains champignons, ce qui entraîne la formation de cellules à deux noyaux (dicaryons). La fusion des noyaux aboutit à la formation d'un zygote diploïde.
- (3) Le zygote, provenant de l'union des mycéliums et de la fusion des noyaux, subit la méiose et donne des spores haploïdes (zygospores, ascospores ou basidiospores). Les spores peuvent ensuite fournir de nouveaux mycéliums haploïdes.

b) **Modes de production des zygotes.** Les divers champignons produisent des zygotes de façon différente.

- (1) Les *zygomycètes*, telle la moisissure noire du pain, donnent des structures résistantes (**zygospores**) qui peuvent rester quiescentes dans des conditions environnementales défavorables.
- (2) Les *ascomycètes* (champignons à sacs) produisent des spores d'origine sexuée dans une structure en forme de sac, appelée **asque**.
- (3) Les *basidiomycètes* (e.g. clavaires), tels les champignons à chapeau, produisent des spores externes d'origine sexuée sur un support appelé **baside**.

4. Les *deutéromycètes*, ou **champignons imparfaits**, constituent un groupe de champignons pour lesquels on ne connaît pas de reproduction sexuée. La reproduction asexuée s'effectue à l'aide de conidies. *Penicillium* en est un exemple.
5. Les **lichens** résultent d'une association symbiotique de champignons et d'algues. Ils ont une relation mutualiste, chacun des partenaires tirant profit de l'autre.

6

La cellule eucaryote

1. Vue d'ensemble

- A.** À l'exception des bactéries, **tous les organismes ont des cellules eucaryotes.**

Les organismes eucaryotes peuvent être uni- ou pluricellulaires. Les cellules eucaryotes ont une taille comprise entre 10 et 100 μm environ (à peu près 10 fois plus grande que celle des cellules procaryotes).

- B.** En termes d'évolution, les eucaryotes sont plus avancés que les **procaryotes** (voir chapitre 20). La différence fondamentale entre les deux types de cellules réside dans le fait que les cellules eucaryotes ont **un vrai noyau limité par une membrane.**

1. Le noyau est le centre de l'information de la cellule. Il contient les gènes, codés dans l'ADN, qui contrôlent toutes les activités cellulaires.
2. Le **cytoplasme** de la cellule comprend toute la région située à l'extérieur du noyau. Les structures cytoplasmiques sont en suspension dans un liquide ressemblant à un gel, le **cytosol**.
3. Les **membranes** sont des constituants importants de la plupart des cellules eucaryotes.
 - a) Les **organites** sont des structures intracellulaires entourées par une ou plusieurs membranes. La fonction normale d'une cellule met en jeu plusieurs types d'organites limités par une membrane.
 - b) Les **membranes intracellulaires** fournissent une surface interne et divisent la cellule en compartiments séparés. Des réactions chimiques spécifiques ont lieu sur les surfaces membranaires et à l'intérieur des compartiments.

- C.** La structure cellulaire ne peut être observée qu'au microscope

1. Les **microscopes photoniques** sont utilisés pour observer des cellules vivantes à des grossissements allant jusque 1 500 fois.

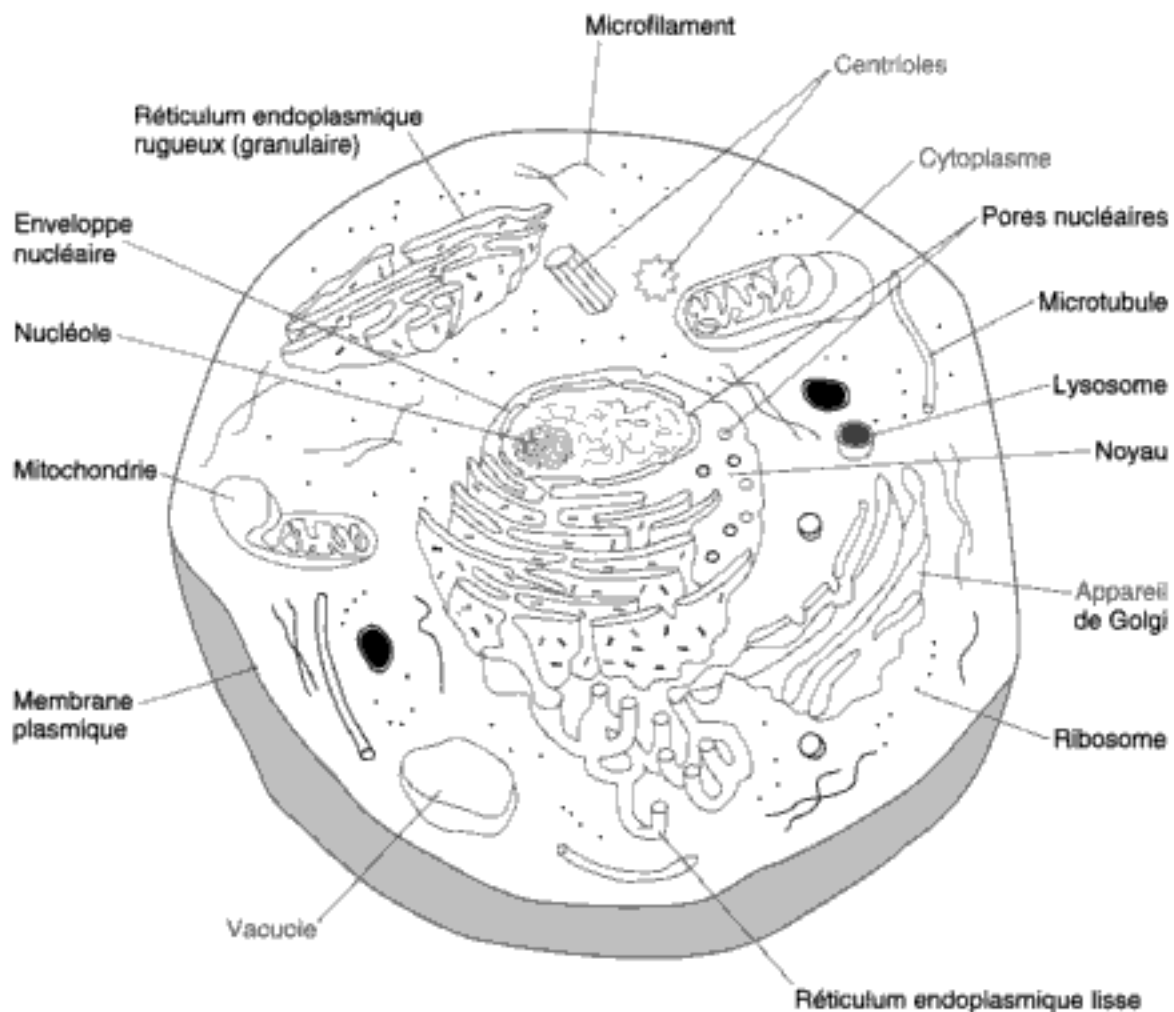


Figure 6.1 La structure d'une cellule eucaryote

2. Les **microscopes électroniques** sont utilisés pour agrandir des cellules spécialement préparées (mortes), jusque 250 000 fois.

2. La cellule eucaryote : structures et fonctions (figure 6-1 ; tableau 6-1)

A. Le noyau

1. Le noyau est un organe, limité par une membrane, qui contient l'essentiel du matériel génétique de la cellule.
2. Le **matériel génétique** est cantonné dans le noyau sous forme de **chromatine**, un complexe d'ADN associé à des protéines histones. Dans le noyau de cellules, qui ne sont pas en cours de division, la chromatine apparaît comme un matériel grêle et diffus.

- a) Les **chromosomes** deviennent visibles lorsque la cellule se prépare à se diviser et que la chromatine se condense. Les chromosomes sont des structures distinctes, linéaires, qui portent les gènes. Le noyau de chaque espèce possède un nombre caractéristique de chromosomes (e.g., les humains en ont 46).
 - b) Lors de la **mitose**, les deux copies des différents chromosomes se séparent en deux lots qui se répartissent dans les deux cellules filles.
3. Le **nucléole** est la structure la plus visible dans une cellule qui n'est pas en cours de division. C'est une région spéciale de l'ADN où sont localisés les gènes codant pour l'ARN ribosomique (ARNr). Le nucléole est aussi l'endroit où l'ARNr et les protéines ribosomiques s'assemblent pour former les ribosomes.
 4. L'**enveloppe nucléaire**, constituée d'une double membrane, entoure le noyau. Les échanges de molécules, entre le noyau et le cytoplasme, se font au travers des **pores** de l'enveloppe nucléaire. Chaque pore est entouré par un complexe de protéines.

B. Les organites limités par une membrane

1. Les **mitochondries** sont les sites de la respiration cellulaire, processus catabolique requérant de l'oxygène, qui extrait l'énergie des molécules organiques pour produire de l'adénosine triphosphate (ATP). L'ensemble des mitochondries est parfois considéré comme la « centrale énergétique de la cellule ». Les mitochondries sont trouvées dans presque toutes les cellules eucaryotes, leur nombre variant selon l'activité métabolique de la cellule. Ce sont des organites dynamiques, capables de croissance et de division.
 - a) **Les membranes.** Les mitochondries sont entourées par deux membranes, l'une interne et l'autre externe.
 - (1) **La membrane interne** présente de nombreux replis appelés **crêtes**. Les crêtes augmentent la surface concernée par les réactions chimiques impliquées dans la respiration. C'est ici qu'a lieu le transport des électrons.
 - (2) **La membrane externe** est lisse. Elle est en contact avec le cytoplasme cellulaire.
 - (3) Entre les membranes interne et externe se situe l'**espace intermembranaire**. Cet espace est important car il sépare et isole les structures mitochondriales internes.
 - (4) **La matrice** correspond au compartiment situé à l'intérieur de la membrane interne. Ce compartiment contient de nombreuses enzymes métaboliques. C'est là que se déroule le cycle de Krebs.
 - b) **Les enzymes.** Des enzymes mitochondriales spécifiques et d'autres protéines sont localisées dans chacun des compartiments de la mito-

Tableau 6.1 Résumé des structures des cellules eucaryotes

Structures	Description	Fonctions
Noyau limité par une double membrane	Organite volumineux entouré par une double membrane percée de pores ; contient les chromosomes (ADN et histones)	Stockage et transfert de l'information
ADN	Chromosomes multiples, linéaires, associés à des protéines histones ; habituellement présents sous forme dispersée (chromatine)	Matériel héréditaire
Mitochondries	Limitées par une double membrane dont l'intérieure possède de nombreux replis, CTE	Respiration cellulaire (production d'ATP)
Lysosomes	Sacs membranaires contenant des enzymes hydrolytiques	Digestion, recyclage des organites
Vacuoles / Vésicules	Sacs membranaires (de taille et de composition diverses)	Transport, réactions chimiques, équilibre de l'eau, prise d'aliments
Réticulum endoplasmique (RE rugueux ou lisse)	Sacs et tubules membranaires	Fabrication des protéines sécrétées, des protéines membranaires et des lipides
Ribosomes	Deux sous-unités faites d'ARN et de protéines ; libres dans le cytoplasme ou fixés à la membrane du RE	Synthèse des protéines
Appareil de Golgi	Sacs membranaires aplatis et empilés	Modification, emballage et transport des produits
Membrane plasmique	Bicouche de phospholipides associés à des protéines, du cholestérol et des glucides	Échanges sélectifs avec l'environnement
Cytosquelette	Réseau complexe de trois types de filaments	Support structural, forme, mouvement
Cils et flagelles ^a	Extensions cytoplasmiques ayant des microtubules organisés en 9 paires (doublets) périphériques et 2 microtubules centraux*	Motilité cellulaire
Centrioles	Structures microtubulaires s'autorépliquant	Division cellulaire

^a Structures absentes dans certains types de cellules

ATP = adénosine triphosphate ; ADN = acide désoxyribonucléique ; CTE = chaîne de transport des électrons

chondrie et sont incluses dans les membranes. Les mitochondries contiennent de l'ADN et des ribosomes qui programment et réalisent la synthèse de certaines de leurs propres protéines.

- 2. Les lysosomes** sont des organites limités par une membrane qui contiennent des enzymes hydrolytiques (digestives). L'intérieur du lysosome, hautement acide, est le milieu optimal pour les enzymes hydrolytiques. Les lysosomes interviennent dans plusieurs fonctions cellulaires importantes.

- a) Les lysosomes sont nécessaires à la **digestion** des nutriments et des autres substances ingérés par la cellule. Ces substances sont prélevées dans une **vacuole alimentaire limitée par une membrane**. Après fusion de la vacuole avec un lysosome, les enzymes lysosomiales digèrent les nutriments.
 - b) Le **recyclage des matériaux organiques** passe par la destruction lysosomiale des organites âgés ou endommagés. Dans des « maladies de stockage », telles que la maladie de Tay-Sachs, un fonctionnement défectueux des lysosomes entraîne une accumulation de substances qui interfèrent avec la fonction cellulaire.
 - c) La **destruction cellulaire programmée** se produit au cours du développement embryonnaire pour donner leur forme propre aux parties du corps (e.g., des doigts séparés).
3. Les **vacuoles** et **vésicules** comprennent divers types de sacs membranaires qui diffèrent par leur taille (les vacuoles sont plus grandes que les vésicules) et leur fonction.
- a) Les **vésicules de transport** transportent les substances qu'elles contiennent d'un endroit à un autre de la cellule.
 - b) Les **vacuoles alimentaires** contiennent des matériaux solides, prélevés par la cellule dans son milieu environnant.
 - c) Les **vacuoles aqueuses**, aussi appelées **vacuoles contractiles**, sont présentes chez de nombreux protozoaires d'eau douce. Ces organites expulsent l'excès d'eau pour éviter l'éclatement de la cellule.
 - d) Les cellules végétales contiennent des **vacuoles centrales** qui jouent un rôle dans le stockage, la digestion, la localisation des pigments et l'absorption de l'eau. Ce sont les organites les plus visibles dans une cellule végétale.

C. Les membranes intracellulaires

- 1. Les **structures membranaires** forment un réseau complexe, continuellement changeant, dans le cytoplasme des cellules eucaryotes. Ces structures interagissent, soit directement par contact physique, soit indirectement par échange de vésicules. Chaque type de structure membranaire fournit un environnement local distinct aux réactions chimiques spécifiques.
- 2. Le **réticulum endoplasmique (RE)** est un ensemble de sacs et de tubules membranaires connecté à l'enveloppe nucléaire. Les compartiments du RE, ou **citernes**, isolent une lumière interne (espace cisternal) du cytosol. Il y a deux types de RE : rugueux (ou granulaire) et lisse.
- a) Le **RE rugueux (RER)** est fait de sacs et de replis membranaires dont la face cytoplasmique est parsemée de ribosomes fixés. Le RER

intervient dans la fabrication et le transport des protéines qui sont sécrétées par la cellule (sécrétion de protéines) ou intégrées aux membranes de la cellule.

(1) Une **séquence signal** est une séquence spécifique qui se situe au début des ARNm codant les protéines appelées à être sécrétées. La séquence signal rend les ribosomes, qui traduisent ces ARN, capables de se lier à des récepteurs spécifiques du RER. Tous les autres ribosomes restent libres dans le cytoplasme. Lorsque la protéine, destinée à être sécrétée, est en cours de synthèse, elle pénètre dans l'espace cisternal et la séquence (le peptide)* signal est éliminée de façon enzymatique.

(2) Les **glycoprotéines**, utilisées dans la membrane plasmique, sont aussi produites dans le RER par fixation enzymatique d'un glucide à des protéines spécifiques.

(3) Les produits du RER le quittent éventuellement par des **vésicules de transport** qui bourgeonnent à partir de sa membrane. Ces vésicules transportent les substances vers des sites intracellulaires, vers la membrane plasmique ou hors de la cellule.

b) Le **RE lisse (REL)** est fait de tubules membranaires nus. Les réactions qui ont lieu dans le REL sont impliquées dans le **métabolisme des lipides**.

(1) **Phospholipides, triglycérides et stéroïdes sont synthétisés** dans le REL.

(2) Le REL est aussi l'endroit où certaines drogues, tels que l'alcool et les barbituriques, sont **détoxifiées**. Des enzymes du REL modifient ces drogues et facilitent leur élimination.

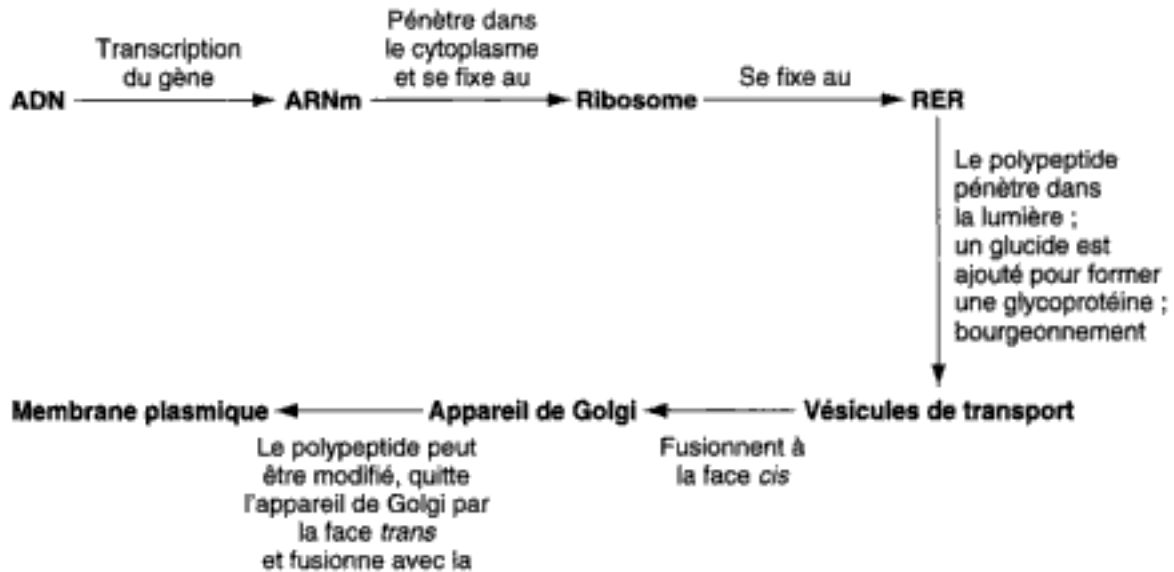
3. L'**appareil (ou complexe)* de Golgi** est constitué d'un ensemble de sacs membranaires aplatis et empilés. Ces structures interviennent dans la transformation chimique, le stockage et la distribution des produits fabriqués dans le RE.

a) La face *cis* de l'appareil de Golgi **reçoit les vésicules de transport venant du RE**. Des enzymes golgiennes modifient les substances reçues (e.g., adjonction d'un oligosaccharide à certaines glycoprotéines). D'autres composés sont synthétisés dans l'appareil de Golgi lui-même.

b) Les modifications chimiques subies dans l'appareil de Golgi fournissent des substances organiques étiquetées pour leur transport vers une destination bien précise dans la cellule. Les produits sont enfermés dans des vésicules qui bourgeonnent et se séparent de la face *trans* de l'appareil de Golgi.

D. Synthèse d'un produit de sécrétion

Le schéma présenté ci-dessous résume les étapes de l'élaboration d'un produit de sécrétion :



E. La membrane plasmique

1. Fonction protectrice. La membrane plasmique enveloppe toute la cellule, établissant une barrière physique entre le cytoplasme et le milieu extracellulaire. La membrane possède une **perméabilité sélective** : seules certaines substances peuvent la traverser. Ceci permet une communication et des échanges contrôlés entre cellules d'une part, et entre cellules et leur environnement d'autre part (voir 2.D.3).

2. Structure de la membrane plasmique (figure 6-2)

a) La membrane plasmique est une bicouche phospholipidique (tout comme les membranes intracellulaires). La membrane est un feuillet très mince, composé de deux couches de molécules organiques appelées phospholipides. Chaque phospholipide a une « tête » polaire à une de ses extrémités (un groupement phosphate chargé négativement) et une « queue » non polaire à l'autre extrémité (une longue chaîne hydrocarbonée). Ces propriétés chimiques entraînent la formation spontanée de la structure bilaminaire en milieu aqueux.

(1) La tête polaire est hydrophile (i.e., elle aime l'eau) ; elle est dirigée vers l'extérieur de la double couche. Cette surface est en contact avec les liquides cytoplasmique et extracellulaire.

(2) La queue, non polaire, est hydrophobe (i.e., elle n'aime pas l'eau) ; elle est dirigée vers l'intérieur de la bicouche. Cette région est isolée des liquides cytoplasmique et extracellulaire.

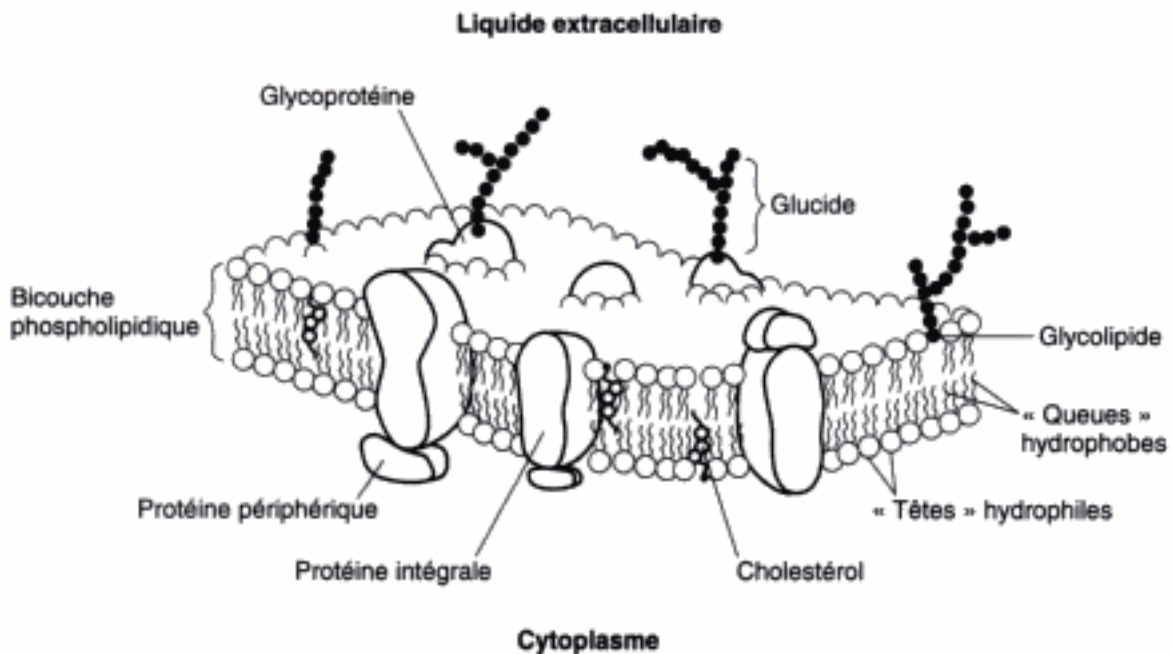


Figure 6.2 La structure d'une membrane plasmique

- b) La consistance liquide (elle ressemble à de l'huile à salade) de la membrane est due aux faibles interactions hydrophobes de la bicouche.
- (1) **Les molécules de phospholipides peuvent dériver latéralement** dans la membrane et changer de place avec leurs voisins.
 - (2) **Le cholestérol et les acides gras insaturés** sont incorporés dans la bicouche membranaire. Ces volumineux lipides empêchent la membrane plasmique de durcir dans des environnements froids.
- c) **Les protéines** constituent 60% environ de la membrane plasmique (les lipides représentent 40%). Les protéines sont insérées individuellement dans la bicouche et ont la possibilité d'effectuer une certaine dérive latérale. Ce modèle structural de la membrane est connu sous le terme de **modèle de la mosaïque fluide**.
- (1) Types de protéines
 - a) **Les protéines intégrales** (ou intrinsèques)* pénètrent à l'intérieur de la zone hydrophobe de la membrane. La plupart des protéines intégrales traversent totalement la membrane et leurs régions hydrophiles font saillie de part et d'autre des deux surfaces membranaires.
 - b) **Les protéines périphériques** (ou extrinsèques)* sont localisées à la surface de la membrane, ancrées aux protéines intégrales. Certaines protéines périphériques sont situées sur la

face extracellulaire de la membrane plasmique, d'autres sur sa face cytoplasmique.

- (2) **Synthèse.** Les protéines de la membrane plasmique sont synthétisées dans le RER et sont directement insérées dans sa membrane. Après transport dans des vésicules vers la surface cellulaire, la membrane du RER (comportant les protéines) fusionne avec la membrane plasmique. Les protéines de la membrane du RER, qui font face au cytoplasme, sont destinées à la face cytoplasmique de la membrane plasmique. De même, les protéines qui font face à la lumière réticulaire se retrouveront sur la face extracellulaire de la membrane plasmique.

3. Mouvements au travers de la membrane

a) Vue d'ensemble

- (1) **La perméabilité sélective** de la membrane plasmique permet à certaines substances de la traverser plus facilement que d'autres.
- (2) **Les molécules non polaires et les petites molécules polaires** peuvent traverser la bicouche phospholipidique par transport (diffusion)* passif : c'est le cas de l'oxygène, du dioxyde de carbone et des molécules d'eau.
- (3) **Les molécules volumineuses et les molécules polaires** ne peuvent pas traverser la zone hydrophobe de la bicouche phospholipidique. C'est le cas du glucose et des molécules chargées électriquement tels que les ions. Ces substances doivent être transportées au travers de la membrane par des protéines sélectives de transport ou **transporteurs protéiques**.

b) Transport passif (ou diffusion passive)*

- (1) La force, responsable du déplacement des substances lors du transport passif, est **un gradient de concentration**. Lorsque les molécules d'un soluté sont plus concentrées sur une face de la membrane que sur l'autre, elles se déplacent spontanément de la région à concentration la plus élevée vers la région à concentration la plus faible (i.e., elles descendent leur gradient de concentration).
- (a) **La vitesse du mouvement** est régulée par la perméabilité de la membrane à cette substance particulière. L'eau diffuse librement au travers de la plupart des membranes des cellules.
- (b) **L'énergie cellulaire n'est pas nécessaire** au transport passif.
- (2) **L'osmose** est un cas spécial de transport passif. L'osmose permet la diffusion de molécules d'eau au travers d'une membrane perméable à l'eau et non aux solutés de cette eau. Les liquides cytoplasmique et extracellulaire sont tous deux des solutions aqueuses.

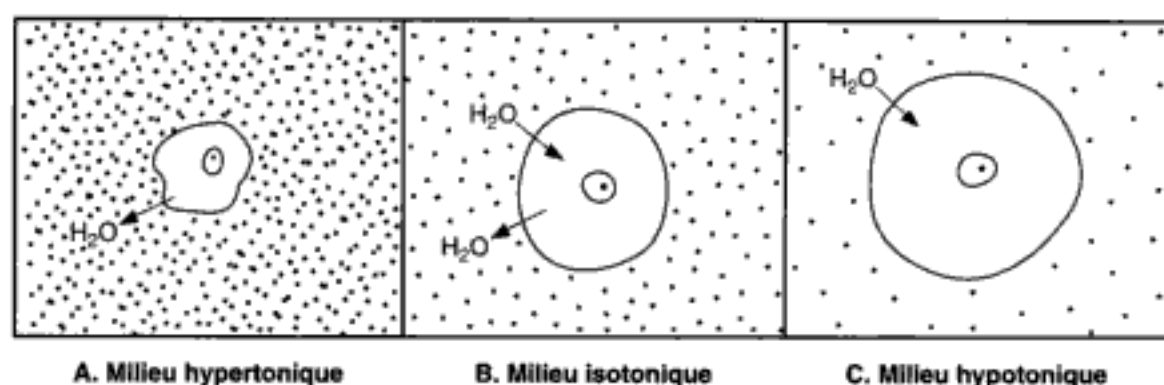


Figure 6.3 Les effets d'un milieu hypertonique (A), isotonique (B) et hypotonique (C) sur les mouvements d'eau et la taille de la cellule

- (a) **L'eau diffuse** d'une région à faible concentration de soluté vers une région à concentration du soluté plus élevée. Le mouvement net de l'eau **descend** (suit) **son propre gradient de concentration**.
- (b) **La pression osmotique** est la tendance d'une solution à absorber l'eau par osmose, quel que soit le type de soluté. La pression osmotique dépend des concentrations totales en solutés, quels que soient les différents types de solutés présents de part et d'autre de la membrane.
- (c) **La tonicité** concerne la relation d'une cellule avec son environnement.
 - 1° Un milieu extracellulaire est **hypertonique** par rapport à une cellule lorsque la concentration des solutés, à l'extérieur de la cellule, est supérieure à celle qui règne à l'intérieur. Dans un milieu hypertonique, la cellule perd de l'eau et se rétracte (figure 6-3A).
 - 2° Un milieu est **hypotonique** par rapport à une cellule lorsque la concentration des solutés, à l'extérieur, est inférieure à celle qui existe à l'intérieur. Dans un milieu hypotonique, l'eau pénètre dans la cellule, provoquant son gonflement, voire son éclatement (voir figure 6-3C)*.
 - 3° Une cellule et son environnement sont **isotoniques** lorsque la concentration des solutés est la même tant à l'extérieur qu'à l'intérieur de la cellule. Dans ce cas, les molécules d'eau traversent la membrane à la même vitesse dans les deux directions (voir figure 6-3B)*. Le système est en **équilibre dynamique**.
- (3) **La diffusion facilitée** est un type de transport passif dans lequel les molécules de soluté descendent un gradient de concen-

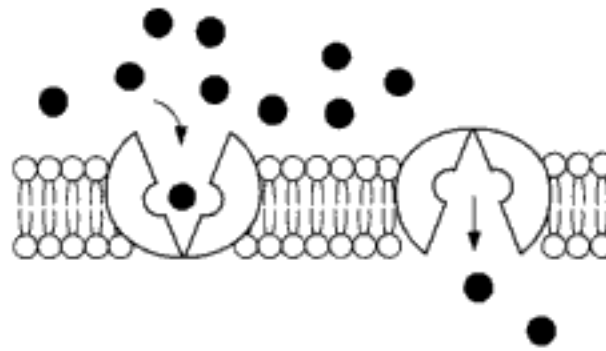


Figure 6.4 Dans la diffusion facilitée, processus passif, un transporteur protéique transporte de façon spécifique des molécules au travers des membranes cellulaires

6

tration grâce à des transporteurs protéiques présents dans la membrane. Un transporteur prélève une molécule, puis change de conformation pour la déposer de l'autre côté de la membrane (figure 6-4). C'est un mécanisme stéréospécifique soumis à inhibition compétitive*. Ce transport **n'a pas besoin d'un apport d'énergie** pour lui-même, mais celui-ci est nécessaire pour entretenir le gradient de concentration*

c) Transport actif

- (1) Le transport actif déplace de petites molécules contre un gradient de concentration. La force, qui entraîne le mouvement dans le transport actif, est due à un **apport d'énergie cellulaire**.
- (2) Le transport actif met en jeu des **transporteurs protéiques** liés à une source d'énergie telle que l'hydrolyse de l'ATP.

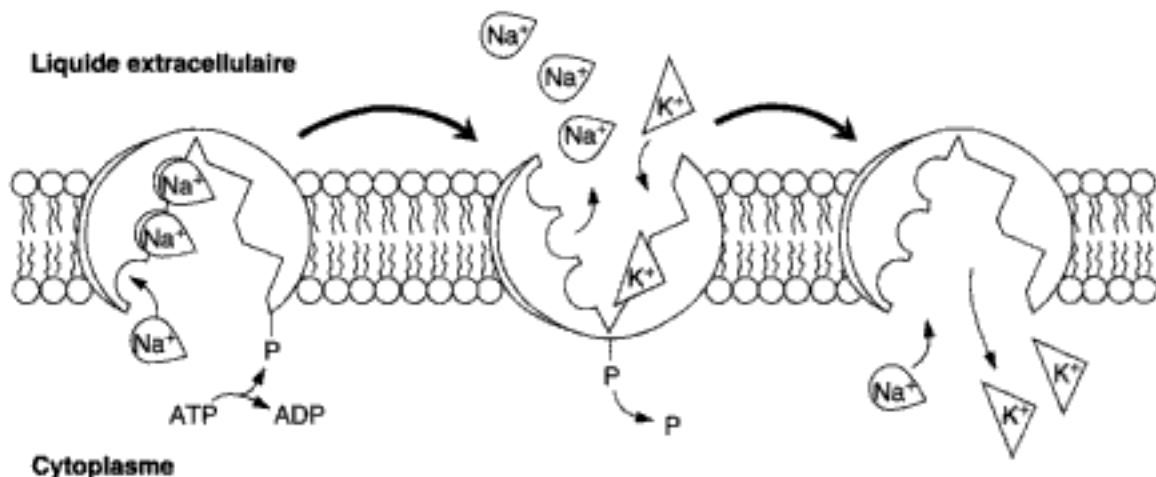


Figure 6.5 La sodium-potassium ATPase

Trois ions sodium sont expulsés de la cellule alors que deux ions potassium y sont introduits. Ce processus requiert un apport d'énergie sous forme d'adénosine triphosphate (ATP)

- (3) Certains transporteurs protéiques, appelés **pompes ioniques**, réalisent un transport actif pour engendrer et maintenir des gradients de concentrations ioniques de part et d'autre d'une membrane.
- (a) La pompe sodium-potassium-ATPase est un exemple de pompe ionique (figure 6-5). Cette protéine (i.e., l'ATPase) utilise l'ATP pour expulser le sodium hors de la cellule et y réintégrer le potassium : pour trois ions sodium expulsés, deux ions potassium sont réintégrés. Ceci donne naissance à un **gradient électrique** provoqué par l'existence d'une charge négative nette (voltage) à l'intérieur de la cellule. La pompe sodium-potassium régule aussi la concentration intracellulaire des solutés en maintenant le sodium intracellulaire à un niveau faible. Cette fonction aide à maintenir l'équilibre osmotique avec le milieu.
- (b) Chaque type d'ion descend son gradient électrochimique en passant par des canaux ioniques spécifiques de la membrane. Des attractions électrostatiques favorisent l'entrée des cations dans la cellule et la sortie des anions de celle-ci.
- (c) Un **potentiel de membrane** est engendré par les différences de concentrations ioniques de part et d'autre d'une membrane. C'est une propriété essentielle des cellules électriquement excitables telles que les cellules nerveuses et musculaires (voir chapitre 7).
- d) **L'endocytose**. Les molécules volumineuses pénètrent dans les cellules par endocytose. Dans l'endocytose, **la membrane plasmique s'invagine pour former des vésicules qui, ensuite, s'isolent par pincement et se retrouvent dans le cytoplasme**. Il y a trois types d'endocytoses :
 - (1) Dans la **phagocytose** (la cellule mange), une extension de la membrane plasmique capte des particules solides, tels que des aliments, et les enferment dans une vacuole alimentaire (figure 6-6A). La vacuole doit fusionner avec un lysosome pour que la digestion puisse se produire.
 - (2) Dans la **pinocytose** (la cellule boit), des gouttelettes de liquide extracellulaire sont incorporées dans de petites vésicules (voir figure 6-6B). C'est un processus non spécifique dans lequel tous les solutés présents dans la gouttelette sont absorbés.
 - (3) **L'endocytose induite par des récepteurs** est le prélèvement spécifique de molécules qui se lient à des groupes de récepteurs situés dans des régions spécifiques de la membrane appelées **puits recouverts** (voir figure 6-6C). L'invagination d'un puits recouvert forme une vésicule (renforcée par une protéine

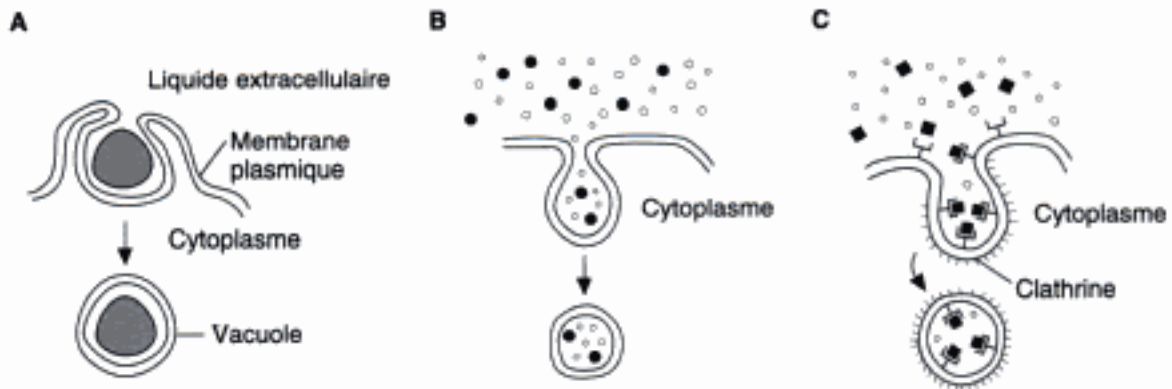


Figure 6.6 Déroulement d'une phagocytose (A), d'une pinocytose (B) et d'une endocytose induite par des récepteurs (C)

fibreuse appelée **clathrine**) qui libère ensuite les substances ingérées. Ce processus permet aux cellules de prélever de grandes quantités d'une substance spécifique, même si ce soluté est en faible concentration extracellulaire.

- e) **L'exocytose.** De grandes molécules sont éliminées d'une cellule par fusion de vésicules cytoplasmiques avec la membrane plasmique. Ce processus est utilisé par les cellules sécrétrices pour libérer leurs produits dans le milieu extracellulaire.
- 4. Les **récepteurs** sont des protéines membranaires spécifiques, situées sur la face externe de la cellule, qui se lient à des substances présentes dans l'environnement de la cellule. Des types différents de cellules ont des assortiments distincts de récepteurs membranaires. Chaque type de récepteur se lie et répond à une catégorie spécifique de molécules (les ligands) de façon caractéristique. Parmi les substances qui se lient à des récepteurs, citons des hormones, des virus, des bactéries, des anticorps et des protéines de surface d'autres cellules.
- 5. La **reconnaissance et l'adhérence entre cellules** font également intervenir des constituants de la membrane plasmique.
 - a) Les **glycoprotéines** sont des protéines auxquelles sont fixés des glucides tels que des polysaccharides ramifiés. Les glycoprotéines identifient les cellules comme appartenant à un organisme ou à un tissu particulier et non à un envahisseur étranger. Par exemple, des glycoprotéines sont à l'origine des types sanguins qui empêchent une réponse immunitaire contre les propres hématies d'une personne.
 - b) Les **jonctions intercellulaires**, formées entre cellules voisines, interviennent dans les interactions directes de cellule à cellule chez les organismes pluricellulaires. Il y en a trois types principaux.

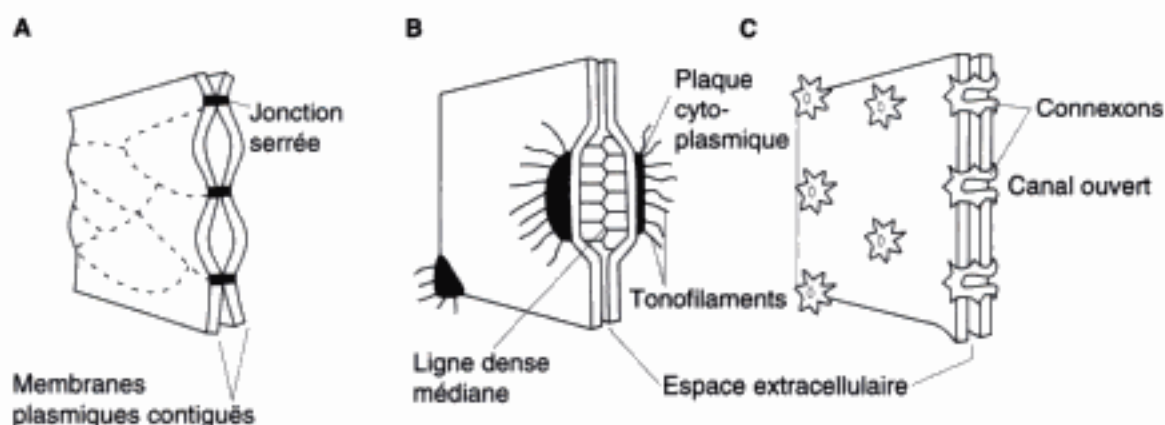


Figure 6.7 Trois formes de jonctions intercellulaires : **A)** jonctions serrées, **B)** desmosomes, et **C)** jonctions communicantes

- (1) Les **jonctions serrées** sont des connexions, réalisées entre des membranes plasmiques adjacentes, qui ne laissent pas suffisamment d'espace aux substances pour passer entre deux cellules. Lorsqu'elles sont organisées en *zonulae occludentes*, elles imperméabilisent les épithéliums et peuvent être dites **jonctions étanches** * (figure 6-7A).
- (2) Les **desmosomes** (*macula adherens*), ou points de soudure, sont des jonctions rigides chargées d'assembler solidement entre elles des cellules adjacentes*. Elles permettent le passage de substances dans l'espace situé entre les cellules voisines et la traversée des surfaces (voir figure 6-7B).
- (3) Les **jonctions communicantes** (lacunaires) sont faites d'ensembles de canaux, regroupés localement, qui relient des cellules adjacentes*. Ces canaux permettent le transfert de petites molécules entre les deux cytoplasmes (voir figure 6-7C).

F. Le cytosquelette (tableau 6-2)

Tableau 6.2 Résumé concernant le cytosquelette

Éléments	Structure / Taille	Protéines	Fonctions
Microtubules	Tubes creux les plus gros : $\varnothing = 25 \text{ nm}$	Tubuline (dimères)	Motilité ; forme cellulaire ; mouvement des chromosomes et des organites ; organisation intracellulaire
Microfilaments	Brins enroulés les plus petits : $\varnothing = 7 \text{ nm}$	Actine	Contraction musculaire ; flux cytoplasmique ; mouvement amoiboïde ; sillon de division ; changements de forme cellulaire
Filaments intermédiaires	Tubes creux de taille moyenne : $\varnothing = 8 - 10 \text{ nm}$	Variable	Support structural ; tension ; maintien de la forme cellulaire

1. **Structure.** Le cytosquelette d'une cellule est composé d'un réseau dynamique de fibres disposées dans tout le cytoplasme. Il joue un rôle important dans le support structural, le contrôle de la forme des cellules, la motilité cellulaire et les mouvements intracellulaires.
2. **Types.** Il y a trois types principaux d'éléments du cytosquelette.
 - a) Les **microtubules** sont de longs tubes creux composés de sous-unités d'une protéine, la **tubuline**. Parmi les diverses fibres du cytosquelette, ce sont les microtubules qui ont le diamètre le plus grand. Les structures microtubulaires sont organisées par des régions appelées **centres organisateurs des microtubules** (voir figure 6-10).
 - (1) Les **microtubules peuvent déplacer des objets**. Les microtubules peuvent s'allonger ou se raccourcir par addition ou suppression spontanée de sous-unités de tubuline à leurs extrémités. Ce processus peut provoquer le déplacement des objets fixés aux microtubules. Un exemple de ce type de mouvement s'observe lors de la ségrégation des chromosomes au cours de la mitose.
 - (2) Les **microtubules fournissent des « voies » de transport** dans le cytoplasme. Les objets se déplacent en se fixant à des protéines spécifiques qui peuvent glisser sur ces voies microtubulaires. Le déplacement des vésicules, transportant les protéines à sécréter de l'appareil de Golgi à la membrane plasmique, en est un exemple.
 - (3) La **motilité cellulaire** est une autre fonction importante des microtubules.
 - b) Les **microfilaments** sont des fibres pleines faites de deux chaînes entrelacées d'une protéine, l'**actine**. Les microfilaments sont, parmi les fibres du cytosquelette, celles qui possèdent le plus petit diamètre. Les microfilaments sont importants pour les mouvements cellulaires qui font intervenir des contractions. Parmi les exemples, citons :
 - (1) La contraction des cellules et des fibres musculaires.
 - (2) Les mouvements amiboïdes qui font intervenir l'extension et la contraction d'une partie de la cellule.
 - (3) Les flux cytoplasmiques, qui entraînent des mouvements massifs du cytoplasme (observés dans les grandes cellules végétales).
 - (4) La formation du sillon de clivage lors de la division cellulaire.
 - c) Les **filaments intermédiaires** ont des compositions protéiques et des tailles variables selon les différents types de cellules. On pense que la **stabilité cellulaire** est la principale fonction des filaments intermédiaires. Ce sont eux, par exemple, qui maintiennent les organites en place et qui servent au maintien de la forme de la cellule.

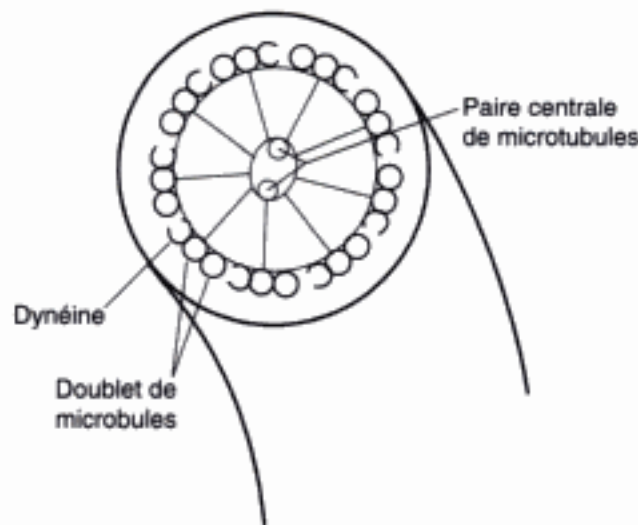


Figure 6.8 Coupe transversale montrant la structure des cils et des flagelles

3. Cils et flagelles. Les cils et les flagelles sont des structures, contenant des microtubules, responsables de la motilité cellulaire. Ces structures sont de fins prolongements cellulaires allongés, en continuité avec la membrane plasmique (voir figure 6-8).

a) *Structure. Les cils et les flagelles contiennent neuf paires de microtubules disposées en un anneau périphérique et deux microtubules centraux (disposition 9 + 2). La base, ou l'ancrage, de cette structure est appelée **corps basal**. Celui-ci est constitué de neuf triplets de microtubules périphériques sans microtubules centraux.

(1) Les flagelles sont plus longs que les cils.

(2) Il n'y a habituellement qu'un ou que quelques flagelles par cellule alors que les cils sont beaucoup plus nombreux.

(3) Les cils et les flagelles eucaryotes sont animés d'un mouvement ondulatoire.

b) Fonction. La fonction la plus commune des cils et des flagelles est la propulsion de la cellule dans son environnement liquide. Cependant, certaines cellules ciliées d'organismes pluricellulaires sont immobiles : elles utilisent leurs cils pour déplacer des substances à la surface d'un tissu.

c) Mouvement. Le mouvement des cils ou des flagelles fait intervenir une protéine, associée aux microtubules, appelée **dyneïne**. La dyneïne (à fonction ATPasique)* est fixée à un microtubule et provoque son glissement, le long du microtubule contigu, par un système à cliquets. Ce processus requiert un apport d'énergie (ATP).

4. Centrioles. Les centrioles ont la même structure microtubulaire que les corps basaux, mais ils ne sont pas associés à des cils ou à des flagelles. Dans les cellules en cours de division, une paire de centrioles est

associée à chacun des deux centres organisateurs de microtubules. Les cellules, qui ne se divisent pas, n'ont qu'une paire de centrioles.

- a) Les cellules animales ont des centrioles, mais les cellules végétales n'en ont pas.
- b) Les centrioles sont impliqués dans le déplacement des chromosomes lors de la mitose (voir 3).

3. Le cycle cellulaire et la mitose chez les eucaryotes

Chez les **organismes pluricellulaires**, la division cellulaire joue un rôle primordial dans la **croissance**, la **reproduction** et la **réparation**. De nombreuses cellules se divisent lors de la croissance, mais elles perdent cette aptitude lorsqu'elles se spécialisent pour une fonction particulière dans l'organisme adulte. Chez les **organismes unicellulaires**, la division cellulaire est le **moyen permettant leur reproduction directe**. Le **cycle cellulaire** est l'intervalle qui sépare la formation d'une cellule et sa division en deux nouvelles cellules filles (figure 6-9). Les cycles cellulaires typiques durent de 1 à 24 heures selon le type cellulaire, l'âge et les conditions. Le cycle cellulaire comporte deux phases : l'**interphase** et la **mitose**.

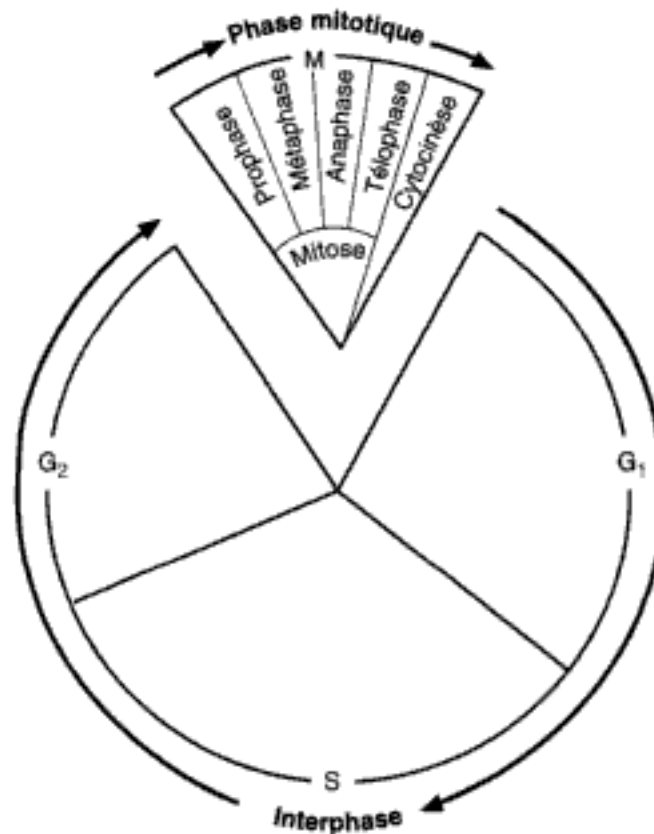


Figure 6.9 Le cycle cellulaire

A. L'interphase représente environ 90 % du cycle cellulaire. La croissance et les activités métaboliques se déroulent continuellement au cours de l'interphase. Le matériel génétique nucléaire est dispersé sous forme de chromatine.

1. Durant l'interphase, les **cellules se développent** en augmentant leur taille et en multipliant le nombre des organites en vue de la division.
2. L'interphase est constituée d'une **succession continue de trois phases**.
 - a) Au cours de la **phase G₁** (G comme « Gap » ou « Growth »*), les activités métaboliques reprennent à une vitesse élevée après un ralentissement durant la mitose.
 - b) Une **synthèse d'ADN** se produit pendant la **phase de synthèse (S)**. À la fin de la phase S, la teneur de la cellule en ADN a doublé et tous les chromosomes se sont répliqués. L'unique paire de centrioles a également été dupliquée pour en former deux paires.
 - c) Durant la **phase G₂**, la cellule effectue les derniers préparatifs en vue de la division.

B. Pendant la phase mitotique (M), les chromosomes se condensent, puis se séparent en deux ensembles égaux. La mitose est habituellement suivie de la cytokinèse au cours de laquelle le cytoplasme se divise pour former deux cellules filles identiques. La mitose est constituée d'une succession de plusieurs stades : la prophase, la métaphase, l'anaphase, et la télophase (figure 6-10).

1. Le début de la prophase

- a) **L'ADN se condense pour former des chromosomes distincts et visibles.** S'étant répliqué en phase S, chaque chromosome est constitué de deux copies identiques appelées **chromatides sœurs**. Chaque chromatide est une molécule d'ADN continue (associée à des histones). Les deux chromatides sont unies au niveau d'une région rétrécie du chromosome, appelée **centromère**. Ce centromère est flanqué de deux plaques protéiques opposées, les **kinétochores***. Les « bras » du chromosome s'étendent à partir du centromère et se terminent au niveau de structures, appelées **téломères**.
- b) Les **nucléoles** (régions sombres) du noyau **disparaissent**.
- c) Le **fuseau mitotique**, organisation bipolaire du cytosquelette, se met en place dans le cytoplasme. Il commence à se former au niveau du centre organisateur des microtubules, le **centrosome**. Le centrosome est initialement constitué de faisceaux de microtubules, et de leurs protéines associées, assemblés autour des deux paires de centrioles. Il se divise ensuite, formant deux faisceaux de microtu-

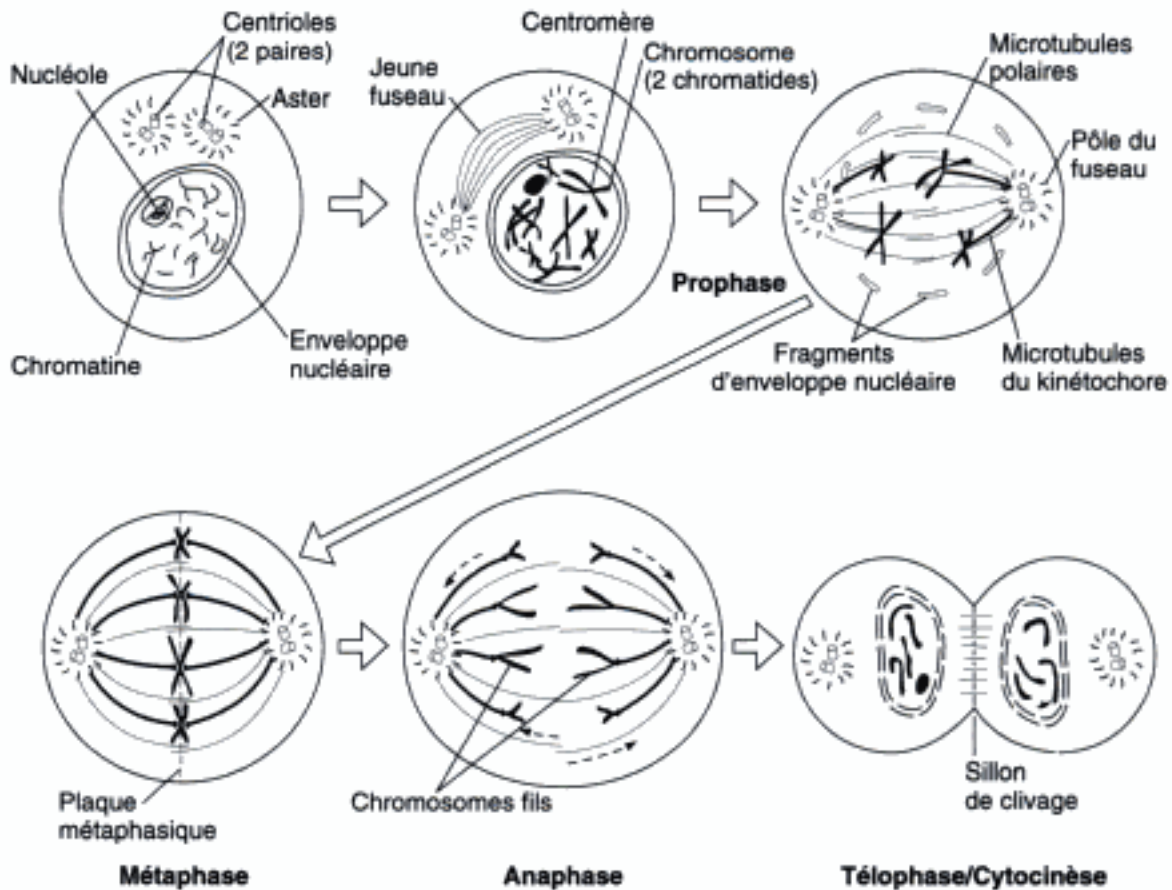


Figure 6.10 Le déroulement de la mitose

Noter que, pendant l'anaphase, les microtubules se raccourcissent et s'écartent, ce qui sépare les chromosomes fils.

bules en forme d'étoile autour de chaque paire de centrioles appelés **asters**.

2. La fin de la prophase

- L'enveloppe nucléaire se rompt en vésicules membranaires** qui ressemblent à des fragments de RE.
- Les **microtubules** des asters **s'allongent**, repoussant les centrioles vers des pôles opposés de la cellule. Le fuseau est alors bipolaire, chaque moitié étant formée de deux types de microtubules. Les **microtubules polaires** s'étendent de chaque pôle vers le plan équatorial de la cellule. Les **microtubules du kinétochore** s'étendent de chacun des pôles opposés et se fixent au kinétochore des chromatides sœurs*.

3. Métaphase

- Les **chromosomes s'alignent sur la plaque métaphasique** (équatoriale), ils sont soumis aux forces équilibrées exercées par les

microtubules opposés du kinétochore. Les chromatides sœurs de chaque chromosome restent unies au niveau du centromère.

- b) **Chaque chromosome est orienté perpendiculairement au fuseau**, leurs kinétochores tournés vers les pôles opposés. L'orientation d'une chromatide vers l'un des pôles est aléatoire. Quand on observe la métaphase à partir d'un pôle, les chromosomes semblent étalés en une plaque.

4. L'anaphase

- a) Les **deux chromatides sœurs se séparent au niveau du centromère**, donnant des chromosomes fils identiques. Chaque chromosome se déplace vers son pôle respectif, le centromère en avant.
- b) Une des forces responsable du mouvement des chromosomes lors de l'anaphase, est due au **raccourcissement des microtubules des kinétochores**. Étant donné que le chromosome maintient sa fixation à l'extrémité du microtubule qui se raccourcit, il se déplace vers le pôle.
- c) Une autre force provoque le déplacement du chromosome : c'est l'**écartement par glissement des microtubules des pôles opposés**. Ceci écarte encore plus les pôles, séparant ainsi les chromosomes.
- d) À la fin de l'anaphase, chaque pôle possède le même ensemble de chromosomes (molécules d'ADN à présent uniques).

5. La télophase

- a) Les **noyaux fils se reforment** à partir des fragments de l'enveloppe nucléaire et d'autres vésicules membranaires de la cellule mère.
- b) Les **nucléoles réapparaissent** et les **chromosome se résolvent** en chromatine
- c) La plupart des cellules subissent une **cytocinèse** à la fin de la télophase. Ce processus **divise le cytoplasme**, répartissant ainsi les noyaux et les organites en deux cellules séparées. Chez les animaux, la contraction d'un anneau de microfilaments forme un **sillon de clivage** qui s'accroît peu à peu et sépare la cellule en deux moitiés. Chez les plantes, la fusion de vésicules forme une plaque cellulaire qui donne, à chacune des cellules filles, une membrane plasmique. Des substances sont sécrétées entre les membranes pour former les nouvelles parois cellulaires.
- d) **Si la mitose s'effectue sans cytocinèse**, la cellule contient plusieurs noyaux dans son cytoplasme. Ces « cellules » sont typiques du tissu musculaire (myofibrilles du muscle strié squelettique)*, des moisissures et des champignons filamenteux.



Cellules et tissus spécialisés des vertébrés

1. Vue d'ensemble

A. Spécialisation

Au cours du développement des animaux, les cellules spécialisent tant leur structure que leur fonction (voir chapitre 18). Les cellules individuelles constituent les unités de base dans la hiérarchie des structures supérieures.

B. Les tissus

Les tissus sont des groupes de cellules ayant une structure et une fonction communes. Chaque tissu a aussi ses propres caractéristiques (tableau 7-1). Ce chapitre décrit les types de cellules spécialisées qui constituent les divers tissus de l'organisme.

1. **Les organes** sont faits de tissus différents, organisés en centres fonctionnels spécialisés.
2. Chez les vertébrés, les **systèmes d'organes** regroupent plusieurs organes qui participent ensemble à une fonction essentielle de l'organisme. Tous les systèmes d'organes doivent être coordonnés pour que l'organisme puisse survivre.

2. Cellules et tissus nerveux

A. Le système nerveux (SN)

Les activités des parties spécialisées d'un animal sont coordonnées par deux systèmes de communication internes : le système nerveux et le système endocrinien.

B. Les cellules du système nerveux

Les cellules du SN sont spécialisées dans les réactions rapides et le contrôle direct de cellules cibles. Ces cellules sont les éléments de base de la

construction des structures d'ordre supérieur et complexes du SN. Le SN comprend **deux catégories principales de cellules** : les **neurones** et les **cellules de soutien**.

1. Les **neurones** conduisent des signaux le long des voies du SN. Les neurones sont les unités fondamentales du SN, et tous les neurones ont un certain nombre de structures en commun (figure 7-1).

a) Le grand **corps cellulaire** (péricaryon ou soma) du neurone contient le noyau, du cytoplasme et la majeure partie des organites*.

b) Les **prolongements** sont de longues extensions, en forme de fibres partant du péricaryon, ou y arrivant*, qui permettent au neurone de conduire des signaux sur de grandes distances. Les neurones possèdent deux types de prolongements : les **dendrites** et les **axones**.

(1) Les **dendrites** sont de courts prolongements ramifiés qui conduisent des signaux vers le péricaryon (conduction cellulipète)*. La plupart des neurones ont de nombreuses dendrites.

(2) Les **axones** sont de longs prolongements qui conduisent les signaux du péricaryon vers la périphérie (conduction cellulifuge)*. La plupart des neurones n'ont qu'un seul axone dont le point de départ sur le soma est appelé **cône de l'axone** ou segment initial*.

(a) **Télodendrites** et **boutons synaptiques**. Un axone peut se ramifier et chaque branche peut se terminer par de nombreuses petites ramifications appelées télodendrites. L'extrémité de chaque télodendrite se termine par une structure bulbeuse, le bouton synaptique.

(b) **Neurotransmetteurs**. Les signaux nerveux sont transmis d'une cellule à une autre par des substances chimiques, libérées à partir des boutons synaptiques, les neurotransmetteurs.

Tableau 7.1 Résumé relatif aux tissus spécialisés

Tissus	Structures	Fonctions générales	Exemples
Nerveux	Neurones, avec corps cellulaire (péricaryon ou soma), axone et dendrites	Détection des stimuli ; conduction des influx	Encéphale, moelle épinière, nerfs périphériques
Musculaires	Longues myofibrilles* ou cellules possédant des microfilaments d'actine et de myosine	Contraction et mouvement	Tissus musculaires striés squelettique et cardiaque, ou lisse (viscéral)
Épithéliaux	Cellules entassées sur une lame basale ; cubiques, cylindriques (prismatiques ou polissodiques)* ou pavimenteuses* ; simple ou stratifié	Protection, absorption, sécrétion, revêtement des surfaces corporelles	Membranes muqueuses, glandes
Conjonctifs	Quelques cellules dispersées ; sécrètent une matrice extracellulaire contenant des fibres	Emballage et soutien d'autres tissus	Tissus lâche, adipeux, fibreux ; cartilage, os, sang

(c) ***Synapse.** Une synapse est une zone de contiguïté, entre le bouton synaptique d'un axone et la dendrite (ou le péricaryon, ou l'axone) d'un autre neurone, constituée par les membranes cellulaires apposées et l'espace qui les sépare. C'est à ce niveau que le signal est transmis, grâce à la diffusion du neurotransmetteur libéré dans l'espace synaptique, et que l'information passe d'un neurone à un autre dans les voies nerveuses.

2. ***Les cellules de soutien**, encore appelées **cellules névrogliques** ou **gliales**, fournissent soutien structural, protection et assistance aux neurones. Les cellules de soutien sont plus nombreuses que les neurones.

a) **Les cellules gliales du SN central (SNC)** comprennent **trois types de cellules** :

(1) Les **astrocytes** sont des cellules possédant de nombreux prolongements radiaires qui leur donnent un aspect étoilé. Ils assistent les neurones dans de nombreuses fonctions métaboliques et participent, notamment, à la croissance du tissu nerveux et à des actions de protection, de régénération et de défense.

(2) Les **oligodendrocytes** ont, comme leur nom l'indique, peu de prolongements. Ils élaborent les gaines de myéline qui enveloppent les axones du SNC.

(3) Les **microgliocytes** sont de petites cellules névrogliques qui, par leur activité phagocytaire, sont des macrophages dans le SNC.

b) **Les cellules gliales du SN périphérique (SNP)** comprennent essentiellement les **cellules de Schwann** (figure 7-1) et des astrocytes.

(1) Les **cellules de Schwann** sont disposées en chaînes le long des axones de nombreux neurones. Tout comme les oligodendrocytes

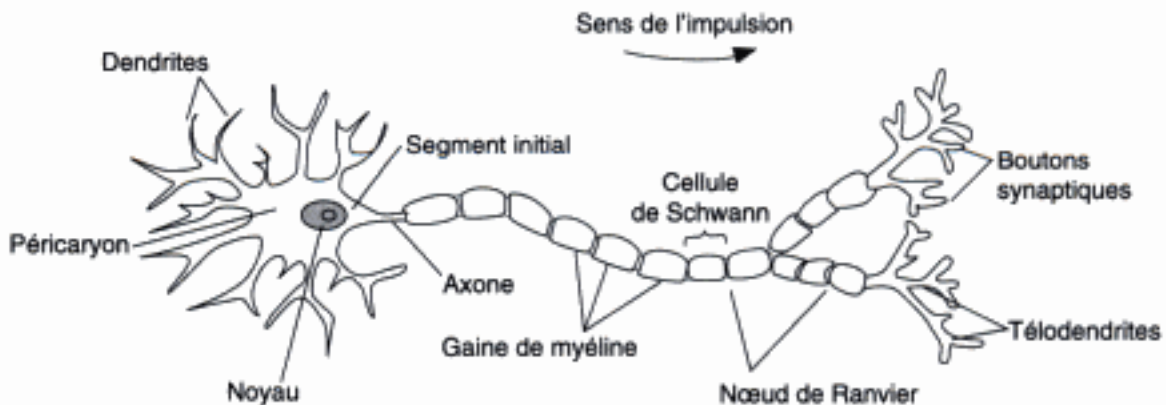


Figure 7.1 Structure d'un neurone dont l'axone est myélinisé. Noter le sens de propagation de l'influx

du SNC, elles isolent les axones en les enveloppant d'une gaine de myéline.

- (2) Les **nœuds de Ranvier** sont de petits espaces, situés entre les manchons de la gaine de myéline élaborés par chacune des cellules de Schwann. À leur niveau, l'axone n'est pas isolé : il est en contact direct avec le liquide extracellulaire.

C. Conduction sur le neurone

1. Les **influx conduits sur un neurone** dépendent des changements ioniques (courants) qui ont lieu au travers de la membrane plasmique de la cellule. Le cytoplasme de la plupart des cellules est chargé négativement par rapport au liquide extracellulaire (voir chapitre 6). Du fait de cette différence ionique (de voltage, ou de potentiel*), la membrane cellulaire possède un potentiel électrique ou **potentiel de membrane**.
2. Le **potentiel de repos** est le potentiel de membrane d'un neurone quand il n'est pas parcouru par un influx.
 - a) La plupart des neurones ont un potentiel de repos d'environ **-70 mV**. La valeur négative indique que l'intérieur de la cellule est négatif par rapport à l'extérieur.
 - b) Le potentiel de repos résulte des effets combinés de l'**extraction des ions** par les pompes à sodium-potassium membranaires et de la **diffusion des ions** qui suivent leurs gradients électrochimiques.
 - (1) Le pompage des ions engendre et maintient des gradients de concentrations ioniques importants, avec des ions sodium plus concentrés à l'extérieur de la cellule et des ions potassium plus concentrés à l'intérieur.
 - (2) Ces ions peuvent diffuser, en descendant leurs gradients, grâce aux **canaux de fuite*** ioniques présents dans la membrane : les ions sodium ont tendance à pénétrer dans la cellule et les ions potassium à en sortir.
 - (3) La membrane est plus perméable aux ions potassium qu'aux ions sodium, mais la force qui provoque le déplacement des ions sodium est plus grande car ils sont attirés à l'intérieur de la cellule par la charge négative qui y règne.
3. Les **potentiels gradués** (PG) sont des changements de voltage locaux, d'amplitude variable*, induits par un stimulus. Un tel stimulus peut être une pression physique sur la cellule, un changement chimique brutal dans le liquide extracellulaire, un choc électrique ou un changement de température. Le stimulus modifie la perméabilité de la membrane plasmique, entraînant un changement des concentrations ioniques de part et d'autre de la membrane, donc un changement du potentiel de membrane*. Une **dépolarisation** ou une **hyperpolarisa-**

tion sont des PG. L'amplitude d'un PG diminue avec la distance qu'il parcourt (décrément)* à partir du point où le neurone a été stimulé. Deux stimuli rapprochés peuvent induire un PG plus ample : le PG est dit **sommable** ou **graduable***.

a) Une **dépolarisation** se produit lorsque le potentiel de repos devient moins négatif (passant, par exemple, de -70 à -50 mV) et que l'intérieur de la cellule devient plus positif. Une dépolarisation augmente les chances de déclencher un influx nerveux.

b) Une **hyperpolarisation** se produit lorsque le potentiel de repos devient plus négatif. En d'autres termes, l'intérieur de la cellule devient plus négatif par rapport à l'extérieur. Une hyperpolarisation diminue les chances de déclencher un influx nerveux.

4. Le **potentiel d'action** (PA). Les neurones conduisent (déclenchent) des influx électriques lorsque les PG sont capables de donner naissance* à une dépolarisation plus importante appelée **potentiel d'action** (figure 7-2). Un potentiel d'action naît à proximité du point de stimulation et rend l'intérieur de la cellule positif par rapport à l'extérieur (e.g., un changement de -70 à $+35$ mV).

a) Les ions traversent la membrane par des **canaux sensibles au voltage** et engendrent le PA. Ces canaux s'ouvrent et se ferment en réponse aux changements du potentiel de membrane.

(1) **Un stimulus provoque une dépolarisation ; une amplification est possible.** Un stimulus provoque une augmentation locale de perméabilité de la membrane aux ions sodium. Ceux-ci pénètrent dans la cellule et dépolarisent la membrane. Si cette dépolarisation est suffisamment importante, les canaux sodiques

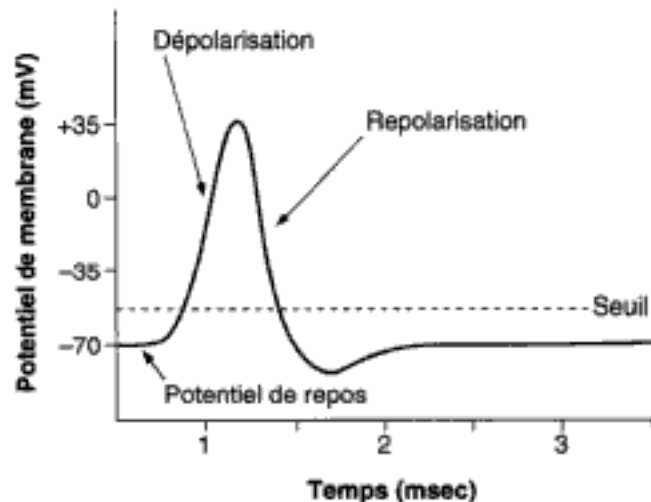


Figure 7.2 Un potentiel d'action

Noter la pente ascendante de la dépolarisation et la pente descendante de la repolarisation.

sensibles au voltage s'ouvrent, augmentant encore la perméabilité. Cette amplification d'une petite dépolarisation engendre un changement de voltage plus important, le potentiel d'action*.

(2) Les canaux se ferment ; une période réfractaire s'ensuit.

Un PA est un événement local et transitoire, car les canaux sodiques se ferment rapidement. Après le déclenchement d'un PA, il y a une période d'insensibilité à toute dépolarisation durant laquelle les canaux sodiques sont inactivés. Cette période réfractaire dure jusqu'à ce que la membrane soit revenue à son potentiel de repos par repolarisation.

- b) La membrane se repolarise** lorsque les canaux potassiques s'ouvrent alors que les canaux sodiques se ferment. La sortie des ions potassium de la cellule rend le potentiel de membrane plus négatif, au point même de provoquer une hyperpolarisation, avant de retrouver le potentiel de repos.
- c) Un PA n'est déclenché** que lorsqu'un stimulus est suffisamment intense pour provoquer une dépolarisation minimale : le **potentiel seuil**. Un fort stimulus se traduit par une fréquence de PA plus élevée (i.e., une décharge répétitive plus dense) que celle obtenue à la suite d'un faible stimulus, mais l'amplitude de la dépolarisation (des PA)* est la même.

5. Propagation du potentiel d'action. Le **segment initial** est la zone au niveau de laquelle les PA sont habituellement engendrés. Ainsi, la probabilité de déclencher un PA dépend-elle de la distance séparant le point de stimulation (habituellement les dendrites ou le péricaryon) du cône axonal. Un PA est conduit (ou se propage) du segment initial jusqu'à l'extrémité de l'axone (figure 7-3).

- a) Influx nerveux.** Lorsqu'un PA initial se produit, les ions sodium, qui entrent dans la cellule, diffusent aussi latéralement, déclenchant un PA un peu plus loin sur l'axone. Ainsi le PA se propage-t-il le long de l'axone. L'influx nerveux est une onde de dépolarisation autopropagée.
- b) Propagation en série.** Les influx nerveux sont propagés par séries, dans une direction, le long de l'axone. Juste en arrière d'une dépolarisation locale, la période réfractaire résultant du PA précédent empêche le déclenchement d'un nouveau PA.
- c) Conduction saltatoire.** Au lieu de se propager de façon continue le long de l'axone, un PA « saute » d'un nœud de Ranvier au suivant, en enjambant les régions isolées. Cette conduction saltatoire accroît la vitesse de propagation de l'influx nerveux. La conduction saltatoire est possible car les canaux sodiques sensibles au voltage sont concentrés aux nœuds de Ranvier et les ions contenus dans le liquide extracellulaire sont en contact direct avec l'axolemmme (membrane de l'axone)*.

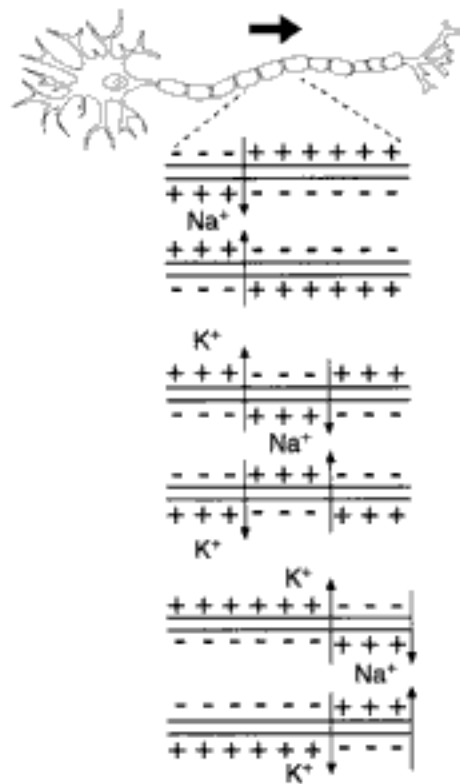


Figure 7.3 Les flux des ions sodium et potassium lors de la propagation d'un potentiel d'action

Noter l'entrée de sodium dans la cellule et la sortie des ions potassium.

D. Transmission synaptique

1. **Neurones pré- et postsynaptiques.** Dans une voie nerveuse, les signaux sont transmis d'un neurone à un autre au niveau de la synapse. Le neurone **qui transmet le signal** est appelé neurone présynaptique, celui **qui le reçoit** est le neurone postsynaptique.
2. **Types de synapses.** Il y a deux types de synapses : les synapses électriques et les synapses chimiques. Les synapses chimiques sont, de loin, les plus communes.
 - a) Les **synapses électriques** permettent aux PA de se propager directement du neurone présynaptique au neurone postsynaptique. Les neurones sont connectés par des jonctions communicantes, dont on sait qu'elles sont constituées de canaux intercellulaires (voir chapitre 6 p. 92). Ces canaux permettent l'écoulement des ions entre les neurones. Du fait de ce couplage électrique, un influx peut être transmis rapidement d'un neurone à un autre. En conditions expérimentales, la transmission peut éventuellement s'effectuer en sens inverse (une transmission bidirectionnelle est possible)*.

b) *Les **synapses chimiques** (figure 7-4) sont constituées d'un espace étroit (i.e., **la fente synaptique**) séparant les membranes adjacentes des neurones pré- et postsynaptiques. Sous l'influence du signal électrique qu'est le PA, le neurone présynaptique libère le neurotransmetteur dans la fente synaptique. Ce signal chimique gagne le neurone postsynaptique et l'incite à produire un nouveau signal électrique. Exception faite des synapses réciproques, dans toutes les synapses chimiques, les influx nerveux ne sont transmis que dans un seul sens (transmission unidirectionnelle).

(1) Le bouton synaptique du neurone présynaptique renferme des **vésicules synaptiques**. Ces vésicules contiennent des milliers de molécules de neurotransmetteur, le messenger chimique intercellulaire qui sera libéré dans la fente synaptique. Un des neurotransmetteurs des plus courants est l'**acétylcholine (ACh)**. L'ACh déclenche la contraction des muscles squelettiques lorsqu'elle est libérée par le motoneurone au niveau de la jonction neuromusculaire (contact entre neurone et muscle, équivalent à une synapse)*.

(2) Lorsqu'un PA, qui s'est propagé le long d'un axone, atteint le bouton synaptique, **la membrane présynaptique se dépolarise**. Les ions calcium se précipitent dans la cellule par des canaux calciques sensibles au voltage et mobilisent les vésicules synaptiques qui fusionnent avec la membrane présynaptique. **Le neurotransmetteur est libéré** dans la fente synaptique, **par exocytose**, et diffuse vers la membrane postsynaptique.

(3) La membrane postsynaptique possède des **récepteurs** pour des molécules de neurotransmetteur spécifiques. La liaison d'un neurotransmetteur à son récepteur entraîne l'ouverture des canaux ioniques associés à ce récepteur. Le courant ionique résultant (e.g., Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ou Cl^-)* modifie le potentiel de membrane.

3. Types de récepteurs. C'est du type de récepteurs, et des canaux que ces récepteurs contrôlent, que dépend la dépolarisation (excitation) ou l'hyperpolarisation (inhibition) de la membrane lors de la liaison d'un neurotransmetteur. **Des signaux excitateurs et inhibiteurs**, venant de nombreux neurones, convergent souvent sur un seul neurone. Ce neurone intègre alors toutes ces informations*.

a) À une **synapse excitatrice**, l'ouverture des canaux permet l'entrée des ions sodium dans le neurone, ce qui dépolarise la membrane. Cette dépolarisation est appelée potentiel postsynaptique excitateur (PPSE).

b) À une **synapse inhibitrice**, l'ouverture des canaux permet la sortie des ions potassium hors du neurone (ou l'entrée des ions chlorure)

*image
not
available*

ques assez puissants pour qu'ils puissent dépolariser le segment initial jusqu'au potentiel seuil. Ceci permet le déclenchement d'un PA. Il y a deux types de sommation :

- a) Dans la **sommation temporelle**, les libérations successives de neurotransmetteur, par un bouton synaptique, se font à haute fréquence si bien que leurs effets rapprochés s'additionnent*.
- b) Dans la **sommation spatiale**, plusieurs boutons synaptiques différents, appartenant habituellement à des neurones présynaptiques différents, stimulent en même temps un neurone postsynaptique. Dans ce cas, leurs effets simultanés s'additionnent*.

3. Cellules et tissus contractiles

A. Tissus musculaires

1. **Contraction.** Chez les animaux, tout mouvement implique la contraction de muscles. Cette capacité contractile est caractéristique de longues cellules, ou fibres*, excitables qui constituent le tissu musculaire, type de tissu le plus abondant du corps. La contraction est la seule activité d'un muscle (l'extension est un phénomène passif).
 - a) **L'actine et la myosine** sont des molécules qui entrent dans la composition des microfilaments disposés longitudinalement dans les cellules ou les fibres musculaires*.
 - b) **Toutes les cellules ou les fibres musculaires ont besoin d'une stimulation électrique (PA)** pour se contracter.
2. **Types de tissus musculaires.** Il y a trois types de tissus musculaires, qui diffèrent par leur structure et leur fonction : ce sont les **muscles striés, squelettique et cardiaque**, et le **muscle lisse (viscéral)***. Les cellules, ou les fibres, qui constituent ces muscles ont des structures, une innervation et des propriétés électriques différentes.
 - a) Le **muscle strié squelettique** est généralement responsable des **mouvements volontaires** du corps. Les muscles squelettiques sont fixés aux os par des tendons (voir chapitre 14).
 - (1) **Myofibres***. Un muscle squelettique est constitué par un faisceau de longues fibres qui, pour certaines, peuvent s'étendre sur toute la longueur du muscle. Chaque fibre musculaire (myofibre) est une longue structure « cellulaire » qui renferme de nombreux noyaux et de multiples petits faisceaux de myofibrilles.
 - (2) **Myofilaments.** Les myofibrilles, disposées longitudinalement dans la myofibre, sont composées de deux types de filaments.
 - a) Les **myofilaments fins** sont faits de deux brins d'**actine-F** (actine fibreuse) enroulés et de deux protéines régulatrices, la **tropomyosine** et la **troponine***.

- (b) Les **myofilaments épais** consistent en un arrangement linéaire de molécules de **myosine**.
- (3) **Sarcomères**. Le muscle squelettique est aussi dit **strié** à cause de son aspect transversalement rayé lorsqu'il est observé en microscopie photonique. Ce motif répété de bandes claires et sombres résulte de l'arrangement régulier des myofilaments fins et épais tout au long de la myofibre. Chaque unité élémentaire est appelée **sarcomère**. L'arrangement spécial des myofilaments dans le sarcomère est à la base de la capacité du muscle à se contracter.
- b) Le **muscle cardiaque** (myocarde)* forme les parois contractiles du cœur. Le myocarde est également strié mais, contrairement au muscle squelettique, ses cellules se ramifient et sont mononucléées (myocytes, voir chapitre 10)*.
- (1) *Les **disques intercalaires**. Les longs myocytes cardiaques sont joints les uns aux autres, à leurs extrémités, par des zones de contact en forme d'escaliers, appelées **disques intercalaires** ou **stries scalariformes**. Ces disques intercalaires contiennent, dans leurs faces transversales, des jonctions adhérentes qui assurent l'ancrage des myofilaments fins et, dans leurs faces longitudinales, des jonctions communicantes (nexus) qui couplent électriquement toutes les cellules myocardiques. Ainsi, un PA engendré dans un myocyte cardiaque peut-il se propager à toutes les cellules myocardiques, provoquant la contraction globale du cœur.
- (2) ***Automatisme cardiaque**. Contrairement aux autres muscles, les myocytes cardiaques n'ont pas besoin de la stimulation de neurones. Certains d'entre eux (cellules du tissu nodal) sont capables de donner naissance à leurs propres PA. Compte tenu du fait que la membrane de ces cellules présente une perméabilité particulière aux ions sodium et calcium, ces PA sont de longue durée. Ainsi, les contractions du cœur durent-elles longtemps et présentent-elles de longues périodes de relaxation (périodes réfractaires).
- c) Le **muscle lisse (viscéral)** est généralement responsable des **mouvements involontaires**. On trouve les muscles lisses dans les parois du tube digestif, de la vessie, des artères et d'autres organes internes. Les cellules sont nettement fusiformes et sont mononucléées*.
- (1) **Absence de striation**. Les muscles viscéraux sont aussi appelés muscles lisses du fait de l'absence de striation transversale. Au lieu d'être alignés de façon régulière sur toute la longueur des cellules, les myofilaments sont certes disposés longitudinalement* mais en spirale dans toutes les cellules musculaires lisses.

(2) Contractions plus faibles. Les contractions du muscle lisse sont plus faibles que celles du muscle strié car les myofilaments fins et épais sont organisés différemment. Cependant, les cellules du muscle lisse peuvent se contracter sur une gamme de longueurs beaucoup plus grande. Les muscles lisses se contractent plus lentement que le muscle strié, mais ils peuvent maintenir une contraction sur une plus grande période de temps.

B. Le sarcomère : structure et mécanisme de la contraction (figure 7-5)

1. Structure

- a) **Ligne Z** (Z comme Zwischenmembran)*. Les striations du muscle squelettique résultent de l'alignement des lignes Z qui délimitent chaque sarcomère des nombreuses myofibrilles.
- b) **Bande I** (I comme Isotrope)*. Les myofilaments fins sont fixés à la ligne Z et s'étendent à l'intérieur, vers le centre du sarcomère. Les myofilaments épais sont fixés, tête-bêche, au centre du sarcomère et leurs points de fixation, alignés transversalement, forment la **ligne M** (M comme Mittelmembran)* ; ils sont par ailleurs arrimés à la ligne Z par une protéine « titanique », la **titine**. Dans le muscle au repos, aux extrémités du sarcomère, existe une région où les myofilaments fins et épais ne se chevauchent pas. Cette région ne renferme que des myofilaments fins : c'est la bande I ou claire.
- c) **Bande A** (A comme Anisotrope)*. La large région centrale, au niveau de laquelle les myofilaments fins et épais se chevauchent, est appelée bande A ou sombre*.
- d) **Zone H** (H comme hell ou Hensen)*. L'étroite région, située au centre de la bande A, où il n'y a plus que des filaments épais, est la zone

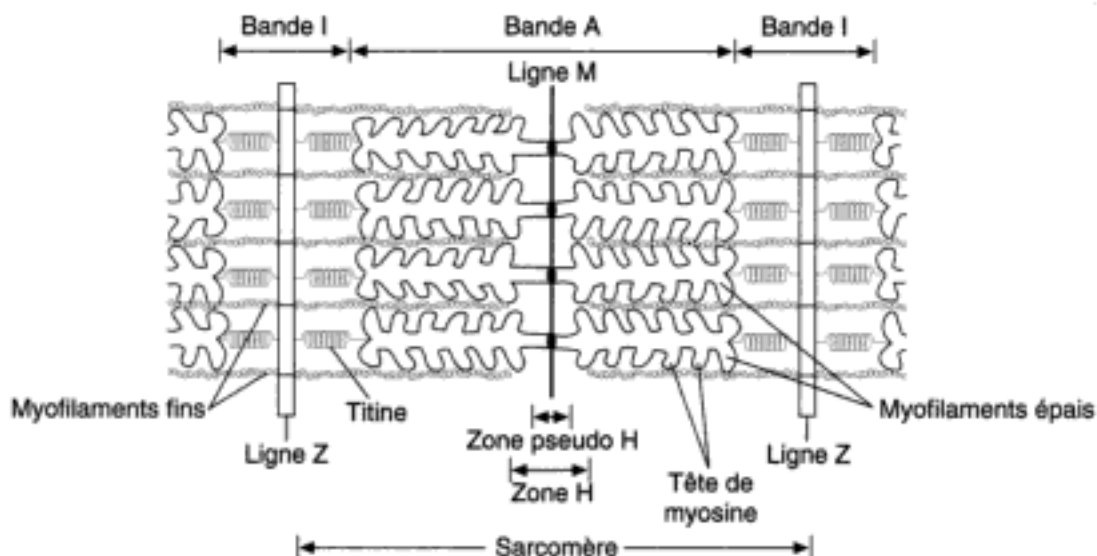


Figure 7.5 Structure d'un sarcomère*

H (les myofilaments fins ne s'étendent que partiellement dans le sarcomère au repos). L'étroite région centrale de la zone H, située de part et d'autre de la ligne M, où il n'y a plus de têtes de myosine, est appelée **zone pseudo H***.

2. Modèle du glissement des filaments. Dans le modèle du glissement des filaments, qui explique le mécanisme de contraction du muscle, les myofilaments fins glissent entre les myofilaments épais pour rapprocher les lignes Z et raccourcir le sarcomère. Les bandes I se raccourcissent et la zone H disparaît, mais la longueur des bandes A reste inchangée. Le raccourcissement de tous les sarcomères d'une myofibrille permet au muscle, lors de la contraction, de réduire sa longueur de repos de moitié environ.

a) Les **interactions actine-myosine** permettent aux myofilaments du sarcomère de glisser les uns par rapport aux autres (figure 7-6).

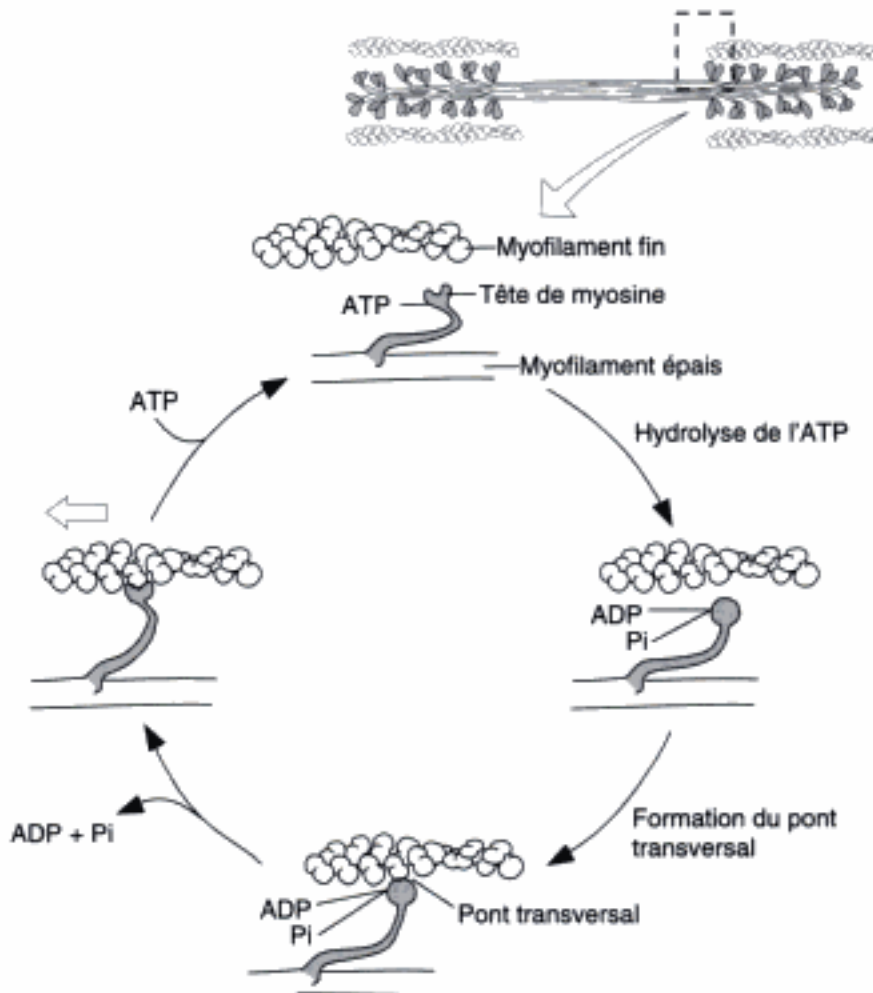


Figure 7.6 Mécanisme de la contraction musculaire

Noter l'implication de l'adénosine triphosphate (ATP) dans ce processus. ADP = adénosine diphosphate ; Pi = phosphate inorganique.

Les molécules de myosine des filaments épais ont des « têtes » qui peuvent se lier à des sites spécifiques des molécules d'actine des myofilaments fins. Ces liaisons, qui se font après hydrolyse de l'ATP en ADP + Pi par les têtes de myosine (dotées d'une activité ATPasique), forment des **ponts transversaux** entre les myofilaments épais et fins*. Après formation des ponts transversaux, l'inclinaison de la tête de myosine tire le myofilament fin vers le centre du sarcomère.

- b) **Les ponts transversaux ne peuvent être rompus qu'avec un apport d'énergie.** L'apport d'une nouvelle molécule d'ATP rompt la liaison de la tête de myosine et de la molécule d'actine du myofilament fin, et la tête de myosine retrouve sa position initiale*.
- c) **Pour répéter le cycle,** la tête de myosine libérée se lie à un autre site d'actine, situé un peu plus loin sur le myofilament fin. Par seconde, on estime qu'approximativement cinq ponts transversaux sont formés et reformés par chacune des quelque 350 têtes de myosine d'un myofilament épais.

C. Régulation de la contraction musculaire

1. **Repos.** Au repos, les sites de liaison des molécules d'actine, sur lesquels les têtes de myosine doivent se fixer*, sont bloqués par la protéine régulatrice qu'est la **tropomyosine** du myofilament fin. Un complexe de protéines régulatrices, appelé **troponine**, fait également partie du myofilament fin.
 - a) **La troponine se lie au calcium.** Les ions calcium sont les régulateurs clés de la contraction. Lorsque le calcium se lie à la troponine, l'interaction troponine-tropomyosine se modifie et la tropomyosine démasque les sites de fixation des têtes de myosine*. Ainsi, la contraction musculaire ne se produit-elle qu'en présence de calcium. Lorsque le taux de calcium chute, les sites de liaison des molécules d'actine* sont à nouveau masqués et la contraction s'arrête.
 - b) Le **réticulum sarcoplasmique** est un système membranaire présentant une lumière qui accumule et libère les ions calcium.
2. **Les motoneurones.** Un muscle squelettique ne se contracte que lorsqu'il est stimulé par un motoneurone. Le couplage de l'excitation électrique à la contraction musculaire se produit de la façon suivante :
 - a) Un **potentiel d'action** est produit par le motoneurone qui innerve une myofibre et le neurone libère de l'ACh à la jonction neuromusculaire. Ceci provoque une dépolarisation graduée de la membrane plasmique de la myofibre (du sarcolemme). Si la dépolarisation est assez ample, elle fait naître un PA qui se propage sur le sarcolemme.
 - b) Les **tubules transverses (tubules T)** sont des invaginations du sarcolemme, en doigt de gant, qui amènent le PA au sein de la myofi-

bre. À l'endroit où les tubules T contactent le réticulum sarcoplasmique, le PA dépolarise celui-ci et provoque la libération des ions calcium. La fixation du calcium à la troponine permet la contraction musculaire.

- c) **Pour se prémunir contre une contraction excessive**, le réticulum sarcoplasmique extrait le calcium du cytoplasme dès que le PA disparaît, empêchant ainsi la poursuite de la contraction.
- d) **L'énergie** nécessaire à ce processus provient de l'**ATP** qui est obtenu par transfert à l'adénosine diphosphate d'un groupement phosphate provenant d'une molécule appelée créatine phosphate.

3. Innervation des myofibres

- a) Certains **petits muscles**, tels que ceux qui exécutent les mouvements oculaires, exigent un contrôle très précis. Dans ce cas, chaque motoneurone innerve une seule myofibre.
- b) Dans les **muscles plus grands**, chaque motoneurone peut innerver des centaines de myofibres dispersées dans tout le muscle.
- c) Une **unité motrice** est l'ensemble constitué par un seul motoneurone et la totalité des myofibres qu'il contrôle.

4. Réponse graduée. Une contraction musculaire est une réponse graduée, ce qui signifie que **l'amplitude et la force d'une contraction peuvent varier**. Deux mécanismes sont responsables de cette réponse graduée.

- a) **Le nombre d'unités motrices varie**. La force d'une contraction dépend du nombre d'unités motrices stimulées. Le **recrutement** d'unités motrices supplémentaires provoque une contraction progressivement plus forte.
- b) **La vitesse des contractions successives varie**. Alors qu'un stimulus unique provoque une secousse musculaire, deux stimuli successifs rapprochés* provoquent deux contractions dont la seconde est plus forte que la première. Cette **sommation** se produit car la seconde contraction débute avant que le muscle ne se soit totalement relâché à la suite de la première. Étant encore raccourci, le muscle se contracte encore plus. Comme les motoneurones envoient habituellement des trains rapides de stimuli, il en résulte une contraction musculaire, lisse et continue, appelée **tétanos**.

4. Cellules et tissus épithéliaux

A. Structure et fonction

1. **Fonction**. Un tissu épithélial **recouvre la surface externe du corps et borde les organes et les cavités corporelles** internes. L'épithélium constitue une **barrière** efficace et une **surface protec-**

trice contre l'invasion de micro-organismes, la perte d'eau et les agressions physiques.

2. **Structure.** Un tissu épithélial est constitué de couches de cellules étroitement assemblées. Ces cellules épithéliales sont, dans de nombreux cas, intimement unies par des jonctions serrées (souvent organisées en *zonulae occludentes* ce qui les rend étanches)* présentes entre les cellules. Peu, ou pas, de substances sont donc capables de passer entre les cellules épithéliales. Un épithélium a **deux surfaces**.

- a) Les cellules de la **surface libre** (face apicale)* sont exposées à l'air ou à un liquide.

- b) Les cellules de la **base** (face basale)* de la barrière reposent sur une **lame basale**.

3. **Formes des cellules.** La forme des cellules de la couche superficielle libre des épithéliums, est un des critères qui permet d'en classer les différents types. Les cellules ont des formes soit **cubique** (en forme de dé), soit **cylindrique** ou palissadique (en forme de cylindre posé sur une de ses sections), soit **pavimenteuse** ou aplatie (en forme de carreaux).*

4. **Épithéliums spécialisés.** Outre la protection qu'ils assurent aux organes qu'ils bordent, certains épithéliums se sont spécialisés dans l'absorption ou la sécrétion de liquides. Ces épithéliums sont habituellement faits de cellules à cytoplasme volumineux (i.e., épithéliums cylindriques ou cubiques).

- a) **Absorption.** Les nutriments sont absorbés par les cellules épithéliales cylindriques qui bordent l'estomac ou l'intestin grêle.

- b) **Sécrétion.** Des substances sont sécrétées par les épithéliums cubiques de la glande thyroïde et des tubules rénaux (néphrons)*.

5. **L'épithélium muqueux** est un autre type d'épithélium qui sécrète un liquide susceptible de maintenir l'humidité et la lubrification d'une surface. La membrane apicale des cellules de certains épithéliums muqueux portent des cils qui déplacent la fine couche de mucus sur toute la surface. Dans les voies respiratoires, par exemple, l'épithélium cilié, fonctionnant comme un tapis roulant, élimine les poussières et autres particules de la trachée afin de maintenir la propreté des poumons.

B. Types d'épithéliums (figure 7-7)

Les épithéliums sont classés non seulement en fonction de la forme des cellules superficielles, mais aussi à partir du **nombre de couches de cellules**. Les cellules superficielles peuvent être pavimenteuses, cubiques ou cylindriques, que l'épithélium possède une ou plusieurs couches de cellules (être stratifié, dans le cas des deux premiers types de cellules)*.

1. Un **épithélium simple** comporte une **seule couche** de cellules.

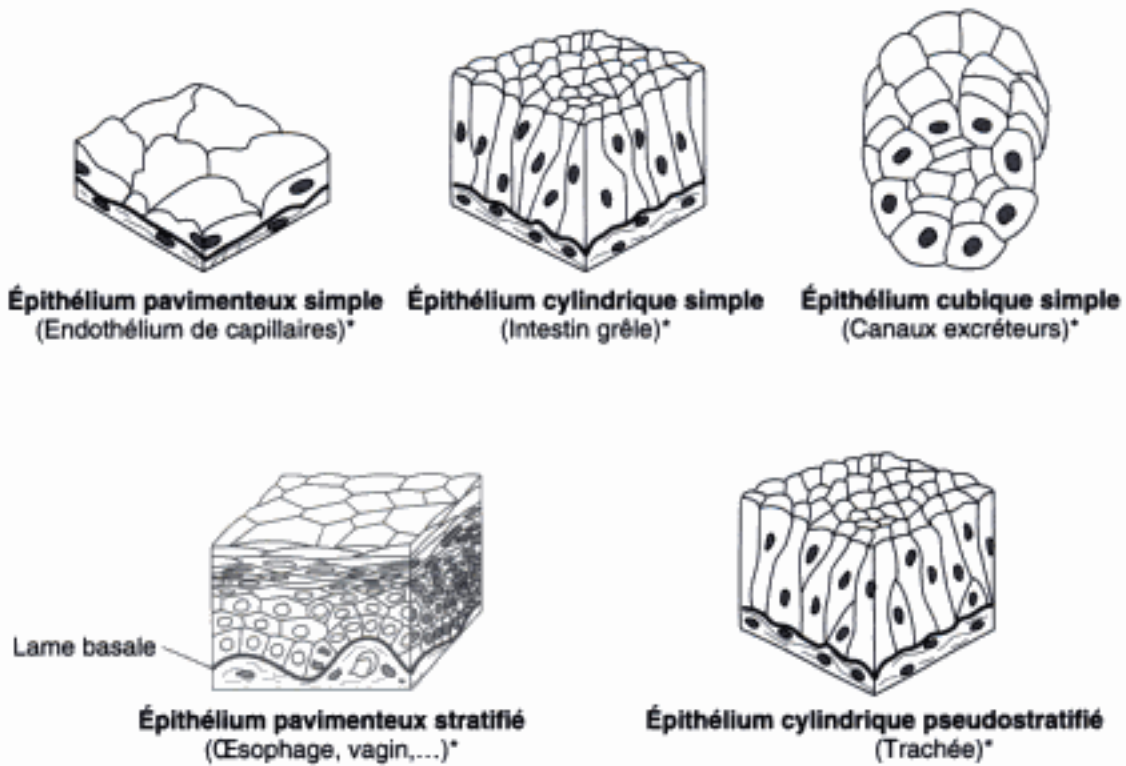


Figure 7.7 Divers types d'épithéliums importants, identifiés en fonction du nombre de couches de cellules (simple ou stratifié) et de la forme des cellules superficielles (pavimenteux, cylindrique ou cubique)

- a) Les **épithéliums pavimenteux simples** sont relativement perméables : ils permettent aux substances de se déplacer au travers des cellules par diffusion. Ce type d'épithélium borde la lumière des vaisseaux sanguins et les alvéoles pulmonaires.
 - b) Les **épithéliums cylindriques simples** assurent l'absorption ou la sécrétion.
2. Un **épithélium stratifié** peut avoir de **deux** à de **multiples couches** de cellules. Ce type d'épithélium peut se régénérer assez facilement. Alors que les cellules âgées se desquament en surface, des cellules proches de la lame basale se divisent régulièrement et poussent les nouvelles cellules vers la face apicale. On trouve de tels épithéliums sur les surfaces soumises continuellement à une abrasion comme la peau et les muqueuses bordant certains tubes et cavités du corps.¹

1. **Note du traducteur** : Les épithéliums cylindriques stratifiés sont très rares. Par contre, il existe des épithéliums cubiques stratifiés (canaux excréteurs) ou pavimenteux stratifiés (peau, œsophage, vagin). Enfin, il existe un épithélium transitionnel (stratifié) qui borde la vessie et qui peut apparaître cubique stratifié à vide et pavimenteux stratifié en réplétion.

3. Un **épithélium pseudostratifié** apparaît stratifié en coupe sagittale, parce que les cellules, compte tenu qu'elles ne sont pas toutes strictement perpendiculaires à la lame basale, semblent constituer plusieurs couches*. En fait, il n'y a qu'une **seule couche** de cellules.

5. Cellules et tissus conjonctifs

A. Fonction. La plupart des tissus conjonctifs réunissent et supportent d'autres tissus.

B. Structure (figure 7-8). Contrairement aux épithéliums, les tissus conjonctifs sont composés d'un petit nombre de cellules dispersées dans un matériel extracellulaire appelé matrice. Cette matrice extracellulaire est constituée d'un réseau de fibres baignant dans une substance fondamentale homogène. C'est la consistance de cette substance fondamentale (liquide, gélatineuse ou solide) qui caractérise les différents types de tissus conjonctifs.

C. Types de tissus conjonctifs

1. Le **tissu conjonctif lâche**, ainsi nommé à cause de son réseau lâche de fibres, est le plus abondant des tissus conjonctifs. Ce tissu conjonctif **lie les épithéliums aux tissus sous-jacents et maintient les organes en place**. Il y a plusieurs types de tissus conjonctifs lâches, dont trois sont distingués par les protéines qui constituent les fibres extracellulaires. Ces fibres sont sécrétées par des cellules appelées **fibroblastes**.

a) Les **fibres de collagène** sont des faisceaux de fibrilles dont chacune est faite d'une protéine enroulée en spirale, le collagène. Une propriété caractéristique des fibres de collagène est leur grande résistance sur toute la longueur de la fibre (**résistance à la traction**). La résistance à l'étirement de ces fibres est importante pour maintenir ensemble les diverses parties du corps (e.g., maintien des muscles attachés aux os)*.

b) Les **fibres élastiques** sont de longues fibres filamenteuses faites d'une protéine, l'**élastine**. Ces fibres, qui ont la propriété de s'étirer, confèrent une **grande élasticité** au tissu conjonctif (e.g., l'élasticité de la peau).

c) Les **fibres réticulaires**, faites de **réticuline***, sont ramifiées et forment un réseau serré. Les fibres réticulaires unissent le tissu conjonctif aux tissus voisins.

2. Les **cellules adipeuses** (adipocytes)* sont spécialisées dans le stockage des lipides. Elles sont dispersées dans un type de tissu conjonctif lâche, le **tissu adipeux**. Le tissu adipeux assure non seulement le stockage de molécules énergétiques, mais aussi le rembourrage et

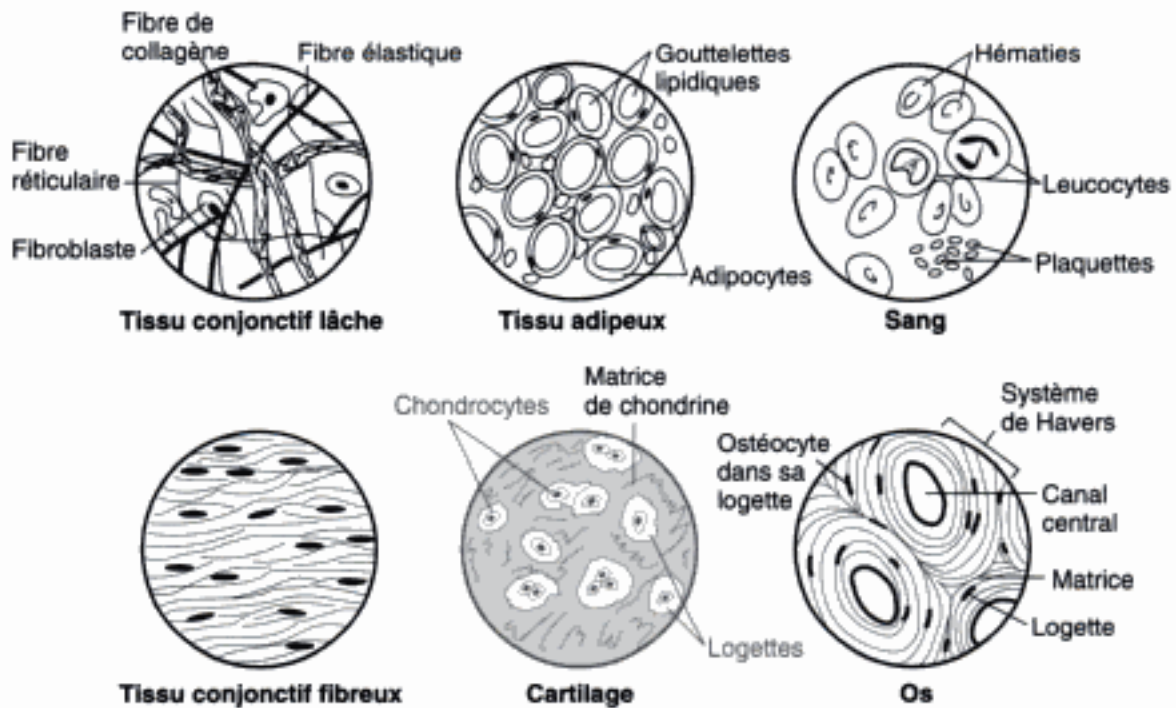


Figure 7.8 Aspect microscopique de divers types de tissus conjonctifs*

l'isolation de l'organisme. Chaque adipocyte se gonfle quand il stocke des lipides et se rétracte lorsque ceux-ci sont utilisés.

3. Le **sang** est composé de plusieurs types de **cellules** et d'**éléments figurés*** en suspension dans une matrice extracellulaire liquide appelée **plasma**. Il diffère des autres tissus conjonctifs par le rôle qu'il joue dans la circulation.
 - a) Le **plasma** est constitué d'eau, de sels et de diverses protéines dissoutes.
 - b) Il y a **trois types de cellules et d'éléments figurés** suspendus dans le plasma :
 - (1) Les **hématies** (globules rouges anucléés*) transportent l'oxygène dans tout le corps.
 - (2) Les **leucocytes** (globules blancs nucléés*) interviennent dans le système immunitaire.
 - (3) Les **plaquettes** (fragments cellulaires anucléés*) sont impliquées dans l'hémostase.
4. Le **tissu conjonctif fibreux**. Le tissu conjonctif dense ou fibreux contient une plus grande quantité de fibres de collagène, mieux organisées, que le tissu conjonctif lâche ; les fibres denses sont disposées en faisceaux parallèles, ce qui leur donne une plus grande résistance à la traction. Les **tendons**, qui attachent les muscles aux os, et les **liga-**

ments, qui lient les os ensemble au niveau des articulations, sont faits de tissu conjonctif dense.

5. Le **cartilage** est un réseau dense de fibres de collagène dans une substance fondamentale appelée **chondrine**. Cette chondrine est un complexe glycoprotéique ayant la consistance du caoutchouc. La chondrine est sécrétée par des cellules appelées **chondrocytes**. Ces chondrocytes sont localisés dans des espaces, dispersés dans toute la matrice, appelés **logettes**. La combinaison de fibres de collagène et de chondrine fait, du cartilage, un matériel résistant et cependant flexible. La principale fonction du cartilage est le soutien et le renforcement (e.g., dans le nez, les oreilles et les disques vertébraux).
6. L'**os**, qui est un tissu conjonctif minéralisé, constitue le squelette qui soutient le corps de la plupart des vertébrés (voir aussi chapitre 14).
 - a) Les **ostéocytes** sont des cellules qui élaborent les fibres de collagène et libèrent le phosphate de calcium formant des dépôts d'**hydroxyapatite minérale** dans la matrice. L'os se durcit sans devenir cassant grâce à la combinaison de minéral dur et de collagène flexible.
 - b) Les **systèmes de Havers** sont les unités répétitives qui constituent l'os compact. Chaque système est composé de couches concentriques de matrice minéralisée, les **lamelles**. Ces lamelles entourent un canal central contenant les vaisseaux sanguins qui alimentent l'os et les nerfs qui l'innervent.
 - c) Les **logettes** sont de petits espaces contenant les ostéocytes. Les logettes sont entourées de la matrice compacte et sont interconnectées par des **canalicules** dans lesquelles les ostéocytes envoient des expansions.
 - d) La **moelle** est un tissu osseux spongieux qui se situe à l'intérieur des os longs. La partie externe compacte des os longs est faite de systèmes haversiens. Les cellules sanguines sont produites dans la **moelle rouge** localisée dans les os plats* et aux extrémités des os longs.



Physiologie



Le système nerveux

1. Introduction

A. Fonction

Le système nerveux humain permet au corps de répondre à son environnement en détectant les stimuli sensoriels, en interprétant l'information fournie par les sens et en suggérant une réponse appropriée. Le fonctionnement du système nerveux est complexe, avec de multiples niveaux de régulation et des millions de réseaux interconnectés. Par conséquent, lorsqu'on étudie ce système complexe, il est important d'en comprendre l'organisation anatomique avec toutes ses multiples subdivisions (figure 8-1).

B. Structure

Le système nerveux humain est subdivisé en deux régions anatomiques. Le **système nerveux périphérique (SNP)** comprend les nerfs crâniens, les nerfs rachidiens et les ganglions qui leur sont associés. Le **système nerveux central (SNC)** se compose de l'encéphale et de la moelle épinière.

2. Le système nerveux périphérique

A. Structure

1. Il y a **12 paires de nerfs crâniens** (tableau 8-1) qui sortent directement de l'encéphale ; il y a **31 paires de nerfs rachidiens*** (nerfs spinaux) qui sortent de la moelle épinière.
2. Les **nerfs spinaux, ou périphériques**, émergent de la colonne vertébrale par les foramens intervertébraux (trous de conjugaison)* et sont baptisés en fonction du niveau vertébral (cervical, thoracique, lombaire, sacré, coccygien)* dont ils sont issus.

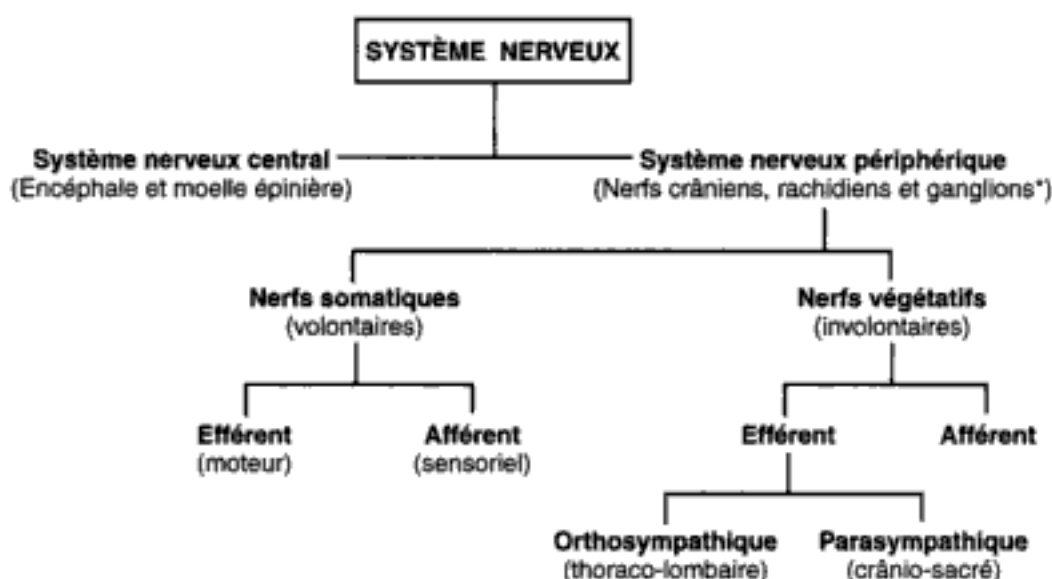


Figure 8.1 Diagramme donnant les différentes composantes du système nerveux

3. Les péricaryons des fibres sensorielles des nerfs rachidiens sont localisés dans les **ganglions des racines dorsales**, ou ganglions spinaux* (figure 8-2) et ceux des fibres motrices sont situés dans les **cornes ventrales** de la moelle épinière.
4. Normalement, les **influx sensoriels gagnent l'encéphale** où ils sont traités et les **influx moteurs sont adressés à la périphérie** pour ordonner la réponse souhaitée.
5. Dans le cas d'un **arc réflexe**, le cerveau* n'intervient pas. Dans le scénario le plus simple, un récepteur sensoriel stimule une fibre* sensorielle qui fait synapse, directement ou indirectement (par des interneurones) avec le motoneurone d'une fibre motrice*. La fibre motrice stimule alors le tissu effecteur, complétant ainsi le circuit.

B. Fonction

1. Fonctions volontaires et involontaires
 - a) Les composants **volontaires** du SNP sont les **nerfs somatiques** qui innervent les muscles squelettiques.
 - b) Les composants **involontaires** sont les **nerfs végétatifs** qui sont regroupés en une unité fonctionnelle connue sous le terme de **système nerveux végétatif*** (SNV).
2. Les **réseaux des nerfs afférents et efférents** sont présents à la fois dans les nerfs somatiques et végétatifs du SNP.
 - a) Les nerfs **efférents**, ou **moteurs**, conduisent les influx nerveux du SNC au corps.
 - b) Par contre, les nerfs **afférents**, ou **sensoriels**, détectent les stimuli sensoriels et transportent cette information de la périphérie au SNC.

Tableau 8.1 Les nerfs crâniens

Numéro	Nerfs crâniens	Composantes	Innervation et fonction
I	Olfactif	Sensoriel	Neuroépithélium* nasal (olfaction)
II	Optique	Sensoriel	Photorécepteurs de la rétine par l'intermédiaire des cellules bipolaires et des cellules ganglionnaires* (vision)
III	Oculo-moteur (o.m.)	Moteur	Muscles oculaires (mouvement des yeux) ; rétrécissement de la pupille ; muscles ciliaires (accommodation)
IV	Trochléaire (pathétique)*	Moteur	Muscle oculaire (mouvement des yeux)
V	Trigême	Sensoriel	Peau de la face et surfaces muqueuses de la bouche et du nez (sensibilité)
		Moteur	Muscles de la mastication (mâchonnement)
VI	Abducens (o.m. commun)*	Moteur	Muscles oculaires (mouvements des yeux)
VII	Facial	Sensoriel	Gustation, pour les deux tiers antérieurs de la langue
		Moteur	Muscles de l'expression faciale
VIII	Vestibulo-cochléaire (auditif)*	Sensoriel	Crêtes des canaux semi-circulaires (équilibration) ; cellules ciliées de l'organe de Corti (audition)
IX	Glossopharyngien	Sensoriel	Gustation, pour le tiers postérieur de la langue ; sensations venant du pharynx
		Moteur	Glandes parotides (sécrétion)
X	Vague (pneumogastrique)*	Moteur	Muscles constricteurs du pharynx (déglutition) ; muscles du larynx (phonation) ; cœur ; muscles lisses et glandes du tractus gastro-intestinal et du système pulmonaire (contrôle végétatif)
XI	Spinal accessoire	Moteur	Muscles trapèzes et sterno-mastoïdiens (élévation des épaules et mouvements de la tête).
XII	Hypoglosse	Moteur	Muscles de la langue (mouvements de la langue).

3. Le **SNV** intervient dans le contrôle de la **constance du milieu intérieur*** ou **homéostasie**. Le SNV **innerv**e tous les **muscles lisses**, le **muscle cardiaque** et les **tissus glandulaires**.

4. La **partie motrice du SNV** est subdivisée encore une fois en composants **orthosympathique** (communément appelé **sympathique**)* thoraco-lombaire, et **parasymphathique** crânio-sacré (figure 8-3). Les **nerfs** qui renferment ces deux composants ont d'importantes différences anatomiques

a) Les **nerfs orthosympathiques** naissent des **régions thoracique et lombaire** de la moelle épinière.

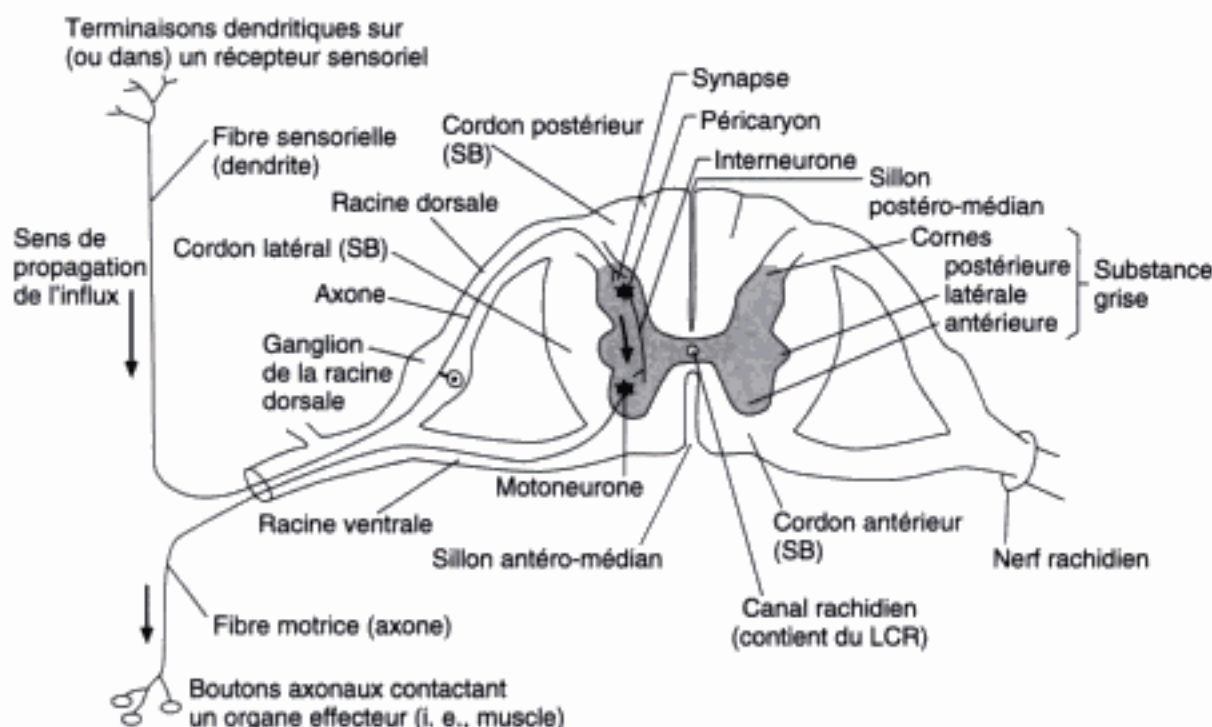


Figure 8.2 Coupe transversale de la moelle épinière avec, dans la moitié gauche, la représentation d'un arc réflexe*

LCR = Liquide céphalo-rachidien ; SB = Substance blanche

- b) Les **fibres nerveuses parasympathiques** naissent du **tronc cérébral** et de la **région sacrée** de la moelle épinière.
 - c) La localisation des ganglions, dans lesquels les fibres orthosympathiques et parasympathiques font synapse sur de seconds neurones, est différente.
5. Un **ganglion** est un rassemblement de corps cellulaires de neurones et, habituellement, le site de multiples synapses.
- a) Dans le système nerveux **sympathique** (SNS), les chaînes de ganglions sont situées des **deux côtés de la moelle épinière**.
 - b) Dans le système nerveux **parasympathique** (SNPa), les ganglions sont localisés **dans ou près des organes innervés**.
 - c) Cette différence de localisation des ganglions, entraîne une **troisième distinction** entre les deux systèmes.
 - (1) Les **circuits végétatifs efférents** sont constitués de deux neurones*. Les **neurones préganglionnaires** sont situés dans le SNC et font synapse dans le ganglion. Les **neurones postganglionnaires** complètent le circuit et conduisent les influx du ganglion au tissu cible.
 - (2) Les **circuits sympathiques** ont de courtes fibres préganglionnaires et de longues fibres postganglionnaires. **À l'inverse, les**

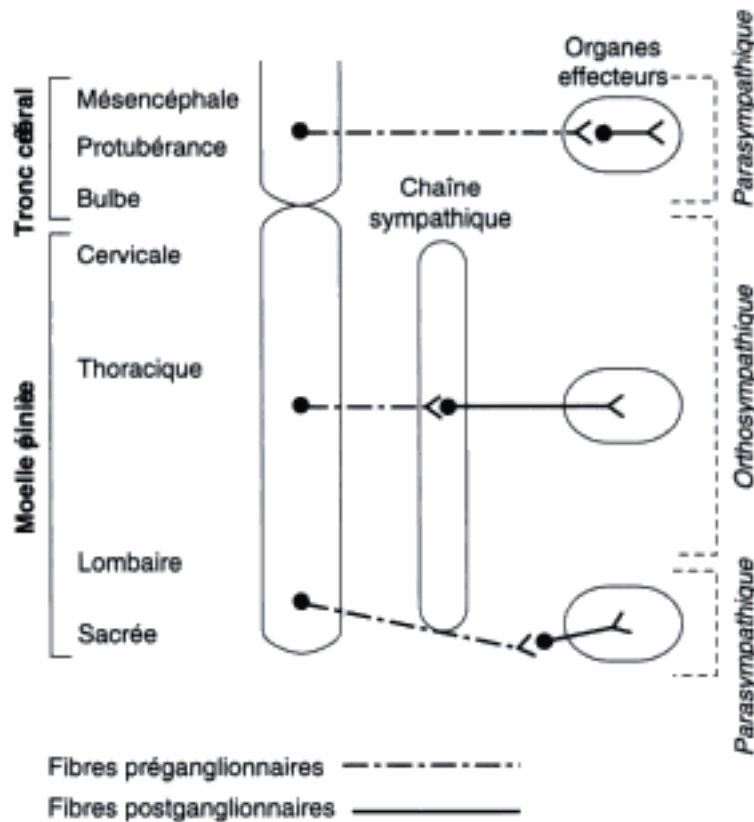


Figure 8.3 Les systèmes nerveux ortho- et parasympathiques

Les neurones préganglionnaires des fibres parasympathiques sont localisés dans le tronc cérébral ou dans la moelle épinière sacrée. Ces fibres font synapse, dans un ganglion proche de la cible, sur de seconds neurones et, finalement, les fibres des neurones postganglionnaires innervent les organes ou les tissus cibles. Les neurones préganglionnaires des fibres orthosympathiques sont localisés dans la moelle épinière thoracique et lombaire. Ces fibres font synapse sur des seconds neurones situés dans la chaîne sympathique, proche de la moelle épinière et, finalement, les fibres postganglionnaires innervent des organes ou tissus cibles assez éloignés*.

voies parasympathiques ont de longues fibres préganglionnaires et de courtes fibres postganglionnaires.

(a) Les fibres sympathiques préganglionnaires ont tendance à faire synapse sur de nombreux neurones postganglionnaires. Cette organisation s'oppose aux rares connexions synaptiques observées dans le système parasympathique.

(b) Par conséquent, les effets d'une activation sympathique ont tendance à diffuser plus largement que ceux engendrés par une stimulation parasympathique dont les effets sont plus localisés.

- 6. Les parties sympathique et parasympathique du SNV exercent des effets antagonistes sur l'organisme.** Se reporter au tableau 8-2 pour connaître des influences végétatives sur l'organisme.

Tableau 8.2 Effets de l'innervation végétative sur les organes effecteurs

Organes effecteurs	Actions parasympathiques	Actions orthosympathiques
Cœur	Diminution du rythme ; aucun effet sur la force de contraction	Augmentation du rythme et de la force de contraction
Voies sanguines	Vasodilatation	Vasoconstriction
Bronches	Constriction	Dilatation
Pupilles	Rétrécissement	Dilatation
Vessie	Constriction	Relaxation
Reins	Augmentation de la production d'urine	Diminution de la production d'urine
Tube digestif	Stimule la contraction des muscles lisses et la sécrétion des enzymes	Inhibe la contraction des muscles lisses et la motilité gastro-intestinale
Fonctions sexuelles	Vasodilatation ; érection	Vasoconstriction ; éjaculation
Glandes salivaires	Stimule les sécrétions fluides et aqueuses	Stimule les sécrétions épaisses et visqueuses
Mobilisation de l'énergie : foie et tissu adipeux	Aucun effet	Stimule, respectivement, la glycogénolyse et la libération des acides gras
Neurotransmetteur	Acétylcholine	Noradrénaline

- a) Le **SNS** prépare l'organisme à « **combattre ou à fuir** », en augmentant la pression sanguine et le rythme respiratoire et en réduisant l'énergie dépensée pour les activités digestives.
- b) Le **SNPa** encourage les activités homéostasiques (« **se reposer et digérer** »), en réduisant la pression sanguine et le rythme respiratoire et en stimulant les sécrétions glandulaires indispensables à la digestion.

3. Le système nerveux central (SNC)

A. La moelle épinière (voir figure 8-2)

1. La **partie centrale de la moelle épinière** est une masse, ayant globalement la forme d'un papillon, constituée des péricaryons des neurones médullaires. Cette région est désignée sous le terme de **substance grise** car les corps cellulaires prennent une teinte grise alors que les axones qui les entourent restent blancs (la substance blanche n'est pas colorée par les colorants de laboratoire du fait de sa richesse en lipides).
2. Les péricaryons des neurones, qui assurent les **fonctions sensorielles**, sont localisés dans les **cornes dorsales** (postérieures).

3. Les **péricaryons** des neurones, impliqués dans les **fonctions motrices**, sont situés dans les **cornes ventrales** (antérieures).
4. La **substance blanche**, qui entoure la substance grise, est essentiellement composée de fibres nerveuses myélinisées. Cette organisation, substance grise - substance blanche, s'étend sur toute la longueur de la moelle épinière et ne se différencie que par le rapport existant entre les deux territoires.
5. Les fibres, localisées dans la substance blanche, voyagent dans la moelle épinière regroupées en **faisceaux, ou en cordons**. Chaque faisceau contient des groupes de fibres qui, outre le fait qu'elles partagent les mêmes sites d'origine et d'arrivée, participent à une fonction commune (e.g., sensation douloureuse pour l'index droit).
 - a) Selon qu'elles sont sensorielles ou motrices, ses fibres nerveuses entrent ou sortent de la moelle épinière respectivement par les **racines dorsales ou ventrales**.
 - b) Les racines dorsale et ventrale se réunissent pour former un **nerf rachidien** qui contient à la fois des **fibres sensorielles et motrices**.
6. La **moelle épinière est protégée** tant par la **colonne vertébrale**, qui l'entoure, que par trois gaines de tissus conjonctifs, les **méninges**.
 - a) De l'extérieur vers l'intérieur, les méninges comprennent la **durée-mère**, l'**arachnoïde*** (membrane arachnoïdienne) et la **pie-mère**.
 - b) Le **liquide céphalo-rachidien (LCR)** remplit les espaces sous-arachnoïdiens, situés entre la membrane arachnoïdienne et la pie-mère, **amortissant** les chocs qui pourraient léser la **moelle épinière**.
 - c) Lors de certaines **maladies** (e.g., la malaria), les méninges subissent une inflammation (méningite) et il est nécessaire d'effectuer un prélèvement de LCR pour déterminer la thérapie à appliquer. Pour éviter des lésions à la moelle épinière, les ponctions lombaires sont réalisées au-dessous de la seconde vertèbre lombaire (L2). La moelle épinière se termine au-dessous de L2 par un ensemble de nerfs spinaux formant la **queue de cheval**.

B. L'encéphale

L'encéphale humain peut être subdivisé en **régions anatomiques** distinctes ayant des fonctions différentes (figure 8-4).

1. La **medulla oblongata** (moelle allongée ou bulbe rachidien), qui prolonge la moelle épinière, correspond à l'**extrémité caudale** du tronc cérébral. Les principales activités contrôlées par cette région encéphalique comprennent le rythme cardiaque, la pression sanguine et le rythme respiratoire. Les centres réflexes qui contrôlent le clignement des yeux, la toux, l'éternuement, la déglutition et le vomissement sont également situés dans la moelle allongée.

2. Le **pont** (de Varole ou protubérance annulaire) est une région renflée, sur la face antérieure du tronc cérébral, juste au-dessus de la moelle allongée. Le pont aide le bulbe à contrôler le rythme respiratoire. Il relaie l'information venant du cortex cérébral et allant au cervelet et contient les péricaryons des neurones qui contrôlent l'expression faciale, la mastication, la sécrétion des larmes et la salivation.
3. Dans la partie supérieure du tronc cérébral, se trouve le **mésencéphale*** (cerveau moyen). Le mésencéphale contient le **noyau rouge**, qui intègre l'information concernant le tonus musculaire et la posture, les **colliculi supérieurs** (tubercules quadrijumeaux antérieurs)* qui interviennent dans les réflexes visuels et les **colliculi inférieurs** (tubercules quadrijumeaux postérieurs)* qui interviennent dans les réflexes auditifs. Le mésencéphale contrôle également le rétrécissement pupillaire et l'accommodation.
4. Le **cervelet** est une structure bihémisphérique localisée en arrière du tronc cérébral. Il constitue la seconde partie la plus volumineuse de l'encéphale et contrôle l'équilibre, le maintien du tonus musculaire et de la posture et les mouvements coordonnés et harmonieux.

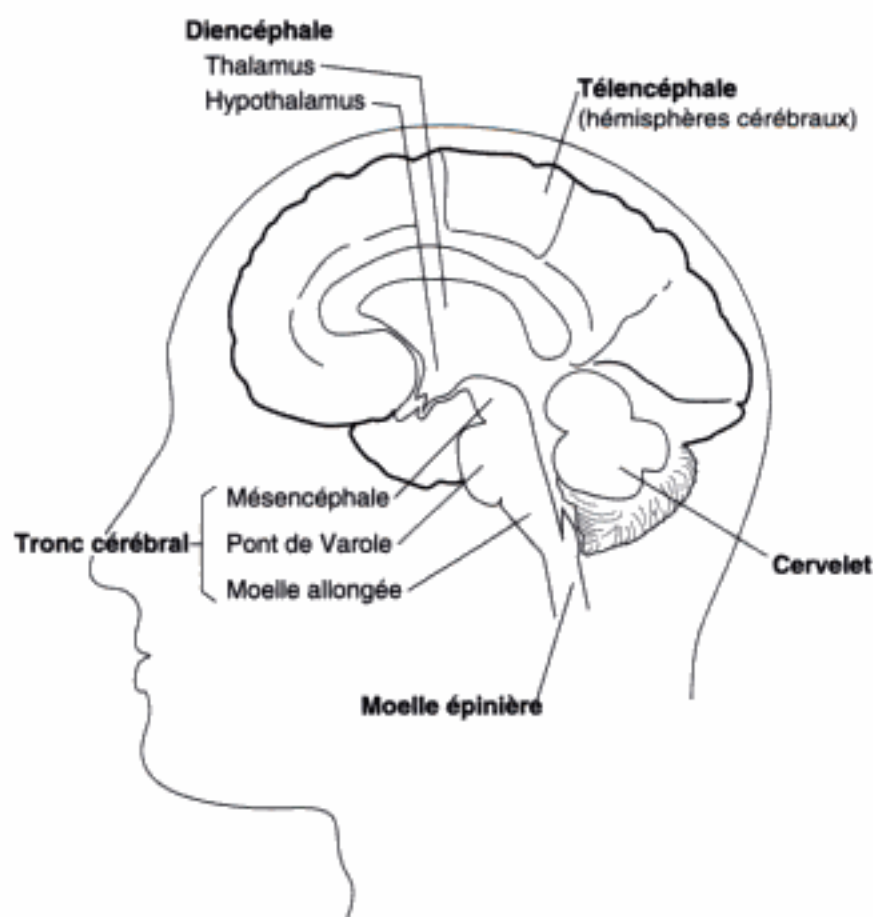


Figure 8.4 Structure de l'encéphale humain

5. Le cerveau

*Pour les neurobiologistes, le **cerveau** correspond à l'ensemble constitué par le **télencéphale** et le **diencéphale**.

a) Le **diencéphale** est la partie interne du cerveau proprement dit. Il comporte trois parties principales.

(1) Le **thalamus** est le principal centre relais qui conduit l'information entre le cortex cérébral et le reste du système nerveux.

(2) L'**hypothalamus** contrôle la température corporelle, l'appétit, le sommeil et la pression sanguine. Il sécrète plusieurs facteurs de libération ou d'inhibition (libérines ou statines), qui régulent les sécrétions de l'antéhypophyse et deux neurohormones (la vasopressine et l'ocytocine) libérées dans la posthypophyse*. Il module certains comportements émotionnels et sexuels (e.g., agressivité, douleur, plaisir). L'hypothalamus est une partie d'un ensemble diencéphalique désigné sous le terme de système limbique.

(3) Le **système limbique** est concerné par l'émotion, dont l'interprétation des stimuli émotionnels et les réponses comportementales à ces stimuli.

b) Le **télencéphale** est la partie la plus volumineuse et la plus remarquable du cerveau. Une scissure centrale, longitudinale, divise le télencéphale en deux hémisphères droit et gauche, qui communiquent entre eux par le **corps calleux**. Chaque hémisphère télencéphalique est de plus subdivisé en quatre lobes principaux (figure 8-5).

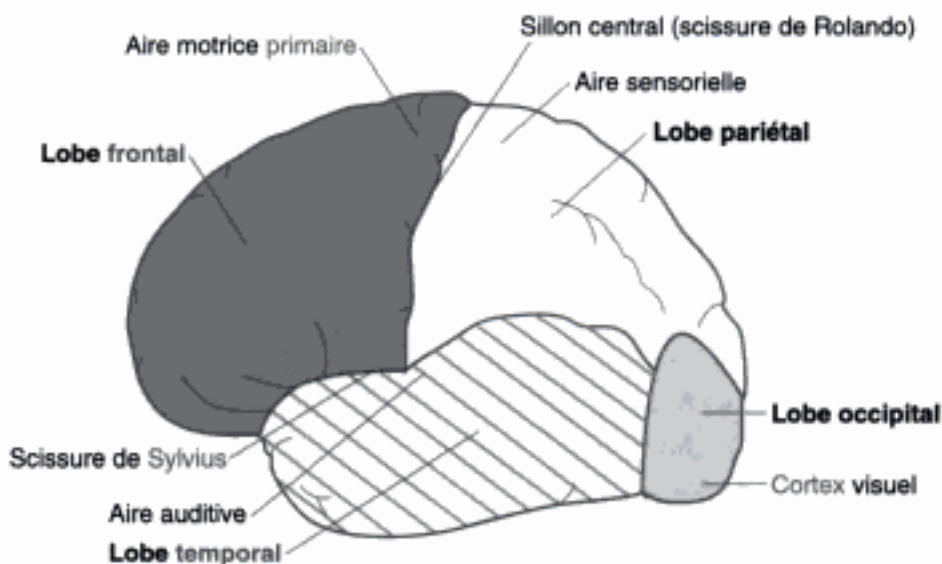


Figure 8.5 Les lobes des hémisphères cérébraux vus sur la face externe de l'hémisphère gauche*

- (1) Le **lobe frontal** contrôle les mouvements volontaires (**cortex moteur**), le comportement, l'apprentissage, la pensée, le jugement et la personnalité.
- (2) Le **lobe temporal** interprète les messages auditifs et facilite l'expression orale.
- (3) Le **lobe pariétal** perçoit les sensations de chaleur, de froid, de toucher et de pression.
- (4) Le **lobe occipital** contient le cortex visuel qui interprète les informations visuelles.

4. Réception et traitement des informations sensorielles spéciales

A. La vision

1. Structure (figure 8-6)

- a) La couche la plus externe du globe oculaire, comprenant la **sclérotique** en arrière et la **cornée** en avant*, est faite de tissu conjonctif fibreux.
- b) Juste à l'intérieur, se trouve une couche vasculaire pigmentée, l'**uvée**, constituée, d'arrière en avant, de la **choroïde**, du **corps ciliaire** et de l'**iris***.
- c) La couche la plus interne — la **rétine** — contient les **cellules photoréceptrices, à cône et à bâtonnet**, et d'autres cellules nerveuses (cellules bipolaires, ganglionnaires, horizontales, amacrines et interplexiformes)* qui interviennent dans la transmission et l'intégration des stimuli visuels.
- d) Les influx visuels sont ensuite transportés, en premier lieu, par les **nerfs optiques** (constitués des axones des cellules ganglionnaires), puis par les bandelettes optiques et enfin par des voies intracrânielles jusqu'au lobe occipital où ils sont interprétés*.

2. Mécanisme de la vision. Le mécanisme de la vision implique une stimulation de la rétine par la lumière et l'utilisation de l'énergie des photons pour donner naissance à une activité électrique dans les photorécepteurs*.

- a) Les photons de la lumière, traversent la cornée, la chambre antérieure qui renferme l'**humeur aqueuse**, la pupille et finalement le cristallin au niveau duquel ils sont réfractés, donnant naissance à une image inversée.
- b) Après réfraction, les photons traversent le **corps vitré** jusqu'à ce qu'ils atteignent les couches de la rétine où ils stimulent à la fois les photorécepteurs à cône et à bâtonnet.

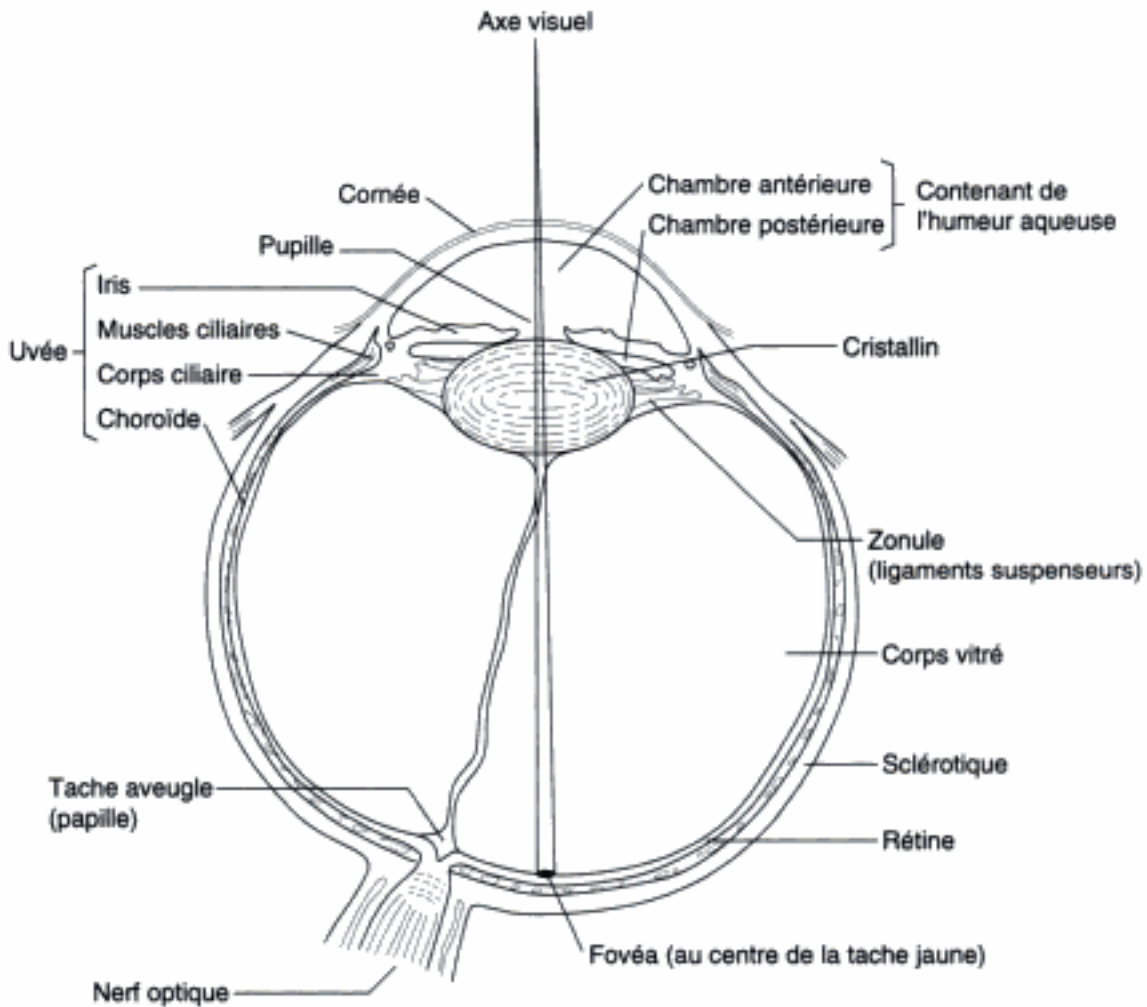


Figure 8.6 Coupe horizontale montrant la structure d'un œil droit*

- c) La majeure partie de la **surface rétinienne** contient des photorécepteurs ; toutefois, il y a des régions spéciales. Le **disque optique** (la papille)*, point postérieur du globe oculaire où le nerf optique quitte la rétine, ne contient pas de photorécepteurs. Cette absence de photorécepteurs crée une **tache aveugle** anatomique. La région, où l'acuité visuelle est la meilleure (i.e., parce qu'elle possède la plus forte densité de photorécepteurs à cône), est la **fovéa**.
- d) **Finalement, les photopigments sont à l'origine de l'activité électrique.** Lorsque les photons heurtent les photorécepteurs, un photopigment absorbe la lumière et subit des modifications structurales qui induisent la production de potentiels électriques. Par conséquent, l'énergie des photons est d'abord utilisée pour donner une énergie chimique laquelle, à son tour, donne naissance à une énergie électrique.

- (1) Le photopigment des photorécepteurs à bâtonnet est la **rhodopsine**. Ce photopigment contient une protéine, appelée **opsine**, chimiquement associée à un dérivé de la vitamine A, le **rétnal**. Les **photorécepteurs à bâtonnet** font la distinction entre le noir et le blanc car ils sont très sensibles et sont dispersés sur toute la surface de la rétine. Ainsi, les photorécepteurs à bâtonnet fonctionnent-ils en lumière faible (e.g., en vision de nuit ou vision scotopique*).
- (2) Un des photopigments des **photorécepteurs à cône** est l'**iodopsine**.
 - (a) Il y a **trois types de photorécepteurs à cône**, chacun contenant une forme de photopigment lui permettant de différencier les longueurs d'onde rouge, verte et bleue.
 - (b) Comme ils sont moins sensibles que les photorécepteurs à bâtonnet, les photorécepteurs à cône **ont une perception colorée et une vision en lumière vive** (i.e., une vision de jour ou vision photopique)*. Les photorécepteurs à cône assurent une bonne acuité visuelle car ils ont un grand pouvoir de résolution.
 - (c) Les photorécepteurs à cône sont **rassemblés dans la rétine**, ce qui facilite leur discrimination des détails fins.
- e) *Les **photorécepteurs transmettent une information électrique**. Toute stimulation lumineuse provoque une **hyperpolarisation graduée** des photorécepteurs. Cette hyperpolarisation graduée **bloque plus ou moins la libération** de leurs neurotransmetteurs. C'est cette information négative graduée qui active, ou inhibe, les neurones rétinien sous-jacents.
 - (1) Les photorécepteurs transmettent l'information électrique aux **cellules bipolaires**, qui, à leur tour, la transmettent aux **cellules ganglionnaires**.
 - (2) *Les cellules ganglionnaires sont les **seules cellules rétinien**nes capables de **donner naissance à des PA** qu'elles codent en messages visuels. L'ensemble de leurs axones forme les **nerfs optiques** et ce sont eux qui acheminent les messages visuels vers les centres.

B. L'audition

1. **L'oreille a la capacité** de détecter les stimuli auditifs et de participer au contrôle de l'équilibre.
2. L'oreille est subdivisée en **trois régions anatomiques principales** (figure 8-7) : l'**oreille externe** composée du pavillon, du conduit auditif externe et de la membrane tympanique (tympan) ; de l'**oreille moyenne** composée des osselets (i.e., marteau, enclume et étrier), de

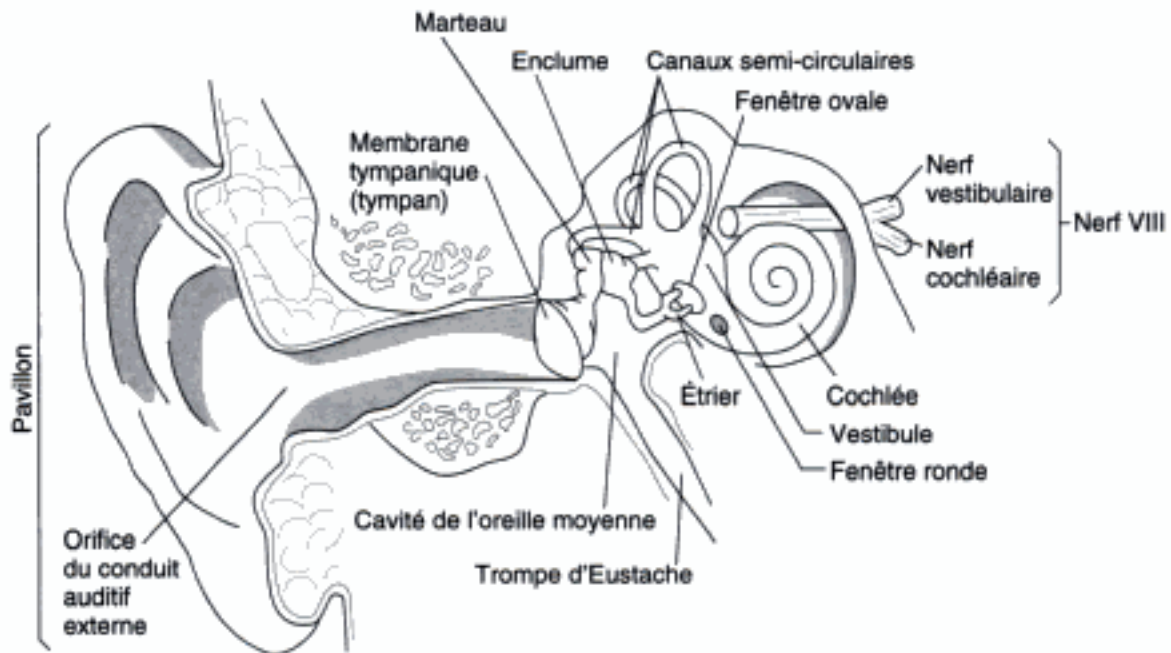


Figure 8.7 Structure de l'oreille humaine

(Reproduite avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*, Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 887).

la trompe d'Eustache et des fenêtres ovale et ronde ; et de l'**oreille interne**, contenue dans les labyrinthes osseux et membraneux, et dans laquelle se trouve l'organe de Corti, le phonotransducteur* (pour les structures de la cochlée et de l'organe de Corti, se reporter aux figures 8-8 et 8-9).

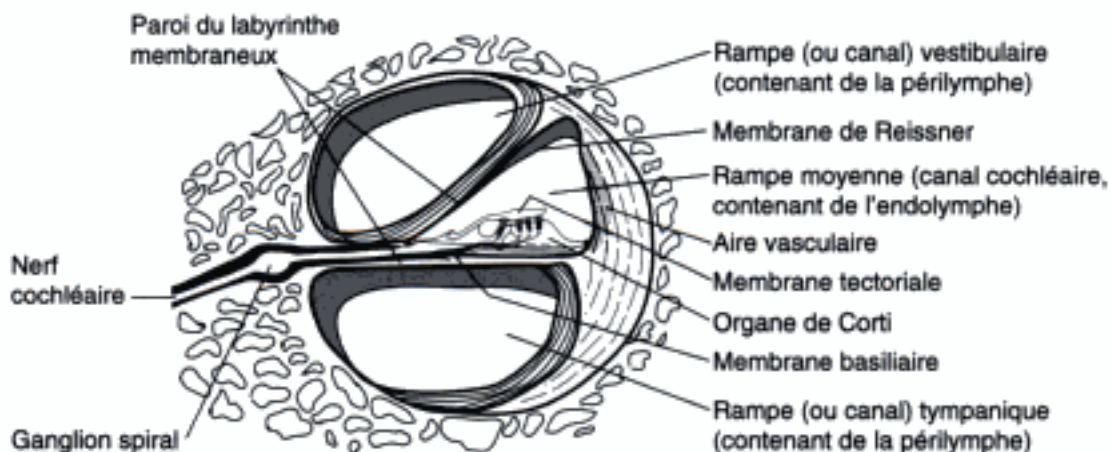


Figure 8.8 La cochlée

(Reproduite avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*, Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 888).

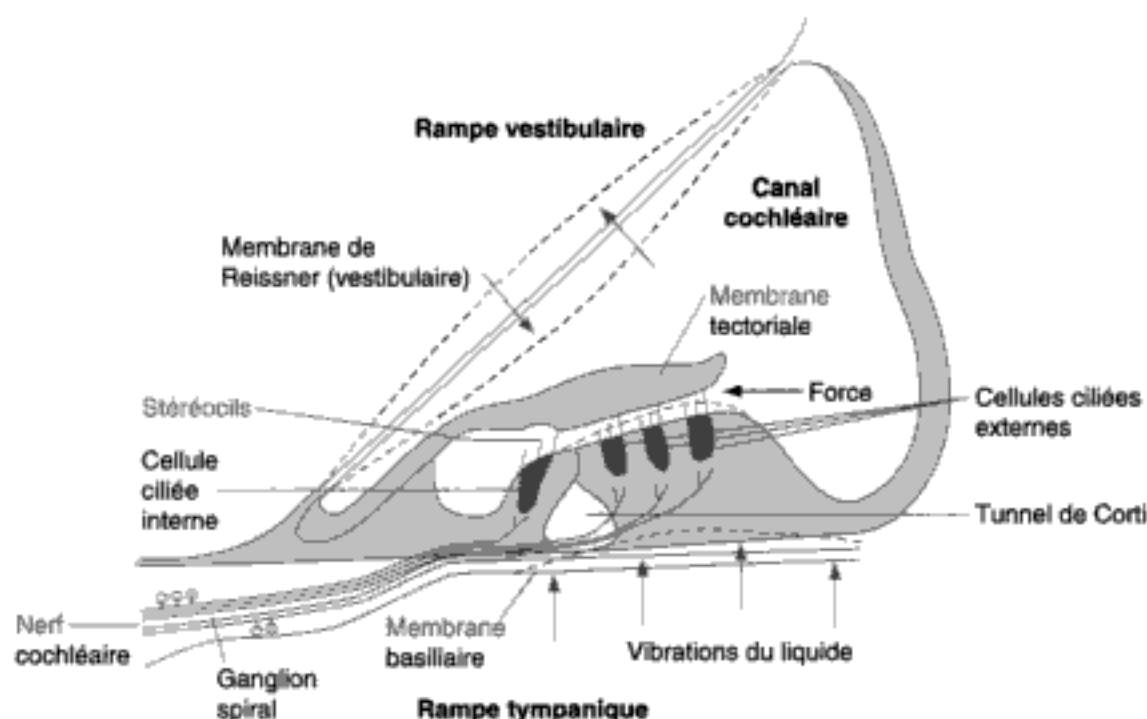


Figure 8.9 L'organe de Corti

(Reproduit avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*, Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 888).

3. Le **mécanisme de l'audition** est complexe. Seules les grandes lignes de ce mécanisme sont présentées ici.
 - a) Le **son pénètre dans le conduit auditif externe** sous forme d'ondes de pression* portées par les molécules d'air. Lorsque ces molécules heurtent le tympan, elles provoquent la vibration de cette membrane.
 - b) Les **vibrations du tympan mettent en mouvement les osselets** (os de l'oreille moyenne), ce qui amplifie le signal et transforme le déplacement du tympan en énergie mécanique.
 - c) À l'extrémité de la chaîne des trois osselets, **la sole de l'étrier s'applique contre la membrane de la fenêtre ovale de la cochlée**, laquelle est un système de canaux remplis de liquide. Lorsque l'étrier s'enfonce dans la fenêtre ovale, la **périlymphe**, qui remplit la **rampe vestibulaire (labyrinthe osseux)** de la cochlée, crée des ondes d'amplitudes variables. Ceci engendre des changements de pression qui sont répercutés à l'**endolymphe**, qui remplit la **rampe moyenne, ou canal cochléaire* (labyrinthe muqueux)**, grâce aux déformations de la **membrane de Reissner** (ou vestibulaire).
 - d) Les mouvements de l'endolymphe, qui varient avec l'intensité et le volume du son qui les fait naître, provoquent l'**inclinaison des stéréo-**

- cils** (implantés sur 3 rangées)* localisés à la surface apicale des cellules ciliées (1 rangée interne et 3 rangées externes)* de l'organe de Corti.
- e) Le mouvement des stéréocils est couplé à l'**ouverture et la fermeture de canaux ioniques** (canaux potassiques)* et peut entraîner des dépolarisations locales. L'énergie mécanique du liquide et le mouvement des stéréocils conduisent à ces dépolarisations grâce à l'entrée des ions K^+ dans les cellules ciliées*.
 - f) *Ces **dépolarisations** provoquent la **libération d'un neurotransmetteur**, lequel **stimule les dendrites** des neurones du ganglion spiral. Les axones de ces neurones, qui forment la **branche cochléaire du VIII^e nerf crânien**, acheminent les messages auditifs vers les centres supérieurs. Ces messages sont interprétés, en tant que sons, au niveau du **lobe temporal**.
 - g) Les **sons de haute fréquence** stimulent les cellules ciliées proches de la base de la cochlée, et les **sons de basse fréquence** stimulent les cellules ciliées proches de l'apex. Cette disposition, qui préside à la détection des fréquences, est appelée **organisation tonotopique**.
 - h) Étant donné l'incompressibilité des liquides, les **changements de pression** qui surviennent dans la rampe vestibulaire exigent la présence d'un dispositif compensateur. C'est la **membrane souple de la fenêtre ronde**, située à l'**extrémité de la rampe tympanique**, qui absorbe ces changements de pression en jouant le rôle de « soupape de sécurité ». La pression peut être soit **transférée directement**, de la rampe vestibulaire à la rampe tympanique, car ces deux rampes communiquent à l'apex par un orifice appelé **hélicotreème** (si la fréquence du son est inférieure à 20 hertz)*, soit **transmise indirectement**, de la périlymphe à l'endolymphe, grâce aux déplacements des membranes vestibulaire et basilaire (lorsque la fréquence est supérieure à 20 hertz)*.
4. En plus de son rôle dans l'audition, l'oreille interne permet également au corps de rectifier sa position dans l'espace grâce au contrôle qu'exerce l'appareil vestibulaire sur l'**équilibre**.
- a) L'**appareil vestibulaire** de l'oreille interne comprend les **trois canaux semi-circulaires**, l'**utricle** et le **saccul**.
 - b) Le jeu complémentaire des canaux semi-circulaires leur permet de détecter les effets de la **pesanteur**, des **mouvements du corps** et de la **position de la tête dans l'espace**.
 - c) Un déplacement de la tête provoque un **mouvement de l'endolymphe à l'intérieur des canaux semi-circulaires**. Chaque canal répond à un des trois plans de l'espace, disposés les uns par rapport

aux autres, à angles droits (sagittal, postérieur et horizontal)*, car les trois canaux sont connectés à l'utricule.

- d) Lorsque l'endolymphe se déplace, les stéréocils (disposés en pinceau)* des cellules ciliées, localisées dans les **crêtes ampullaires**, jouent le même rôle que celui joué par leurs homologues cochléaires. L'information est transmise aux fibres de la **branche vestibulaire du VIII^e nerf crânien** et finalement au cervelet.
- e) **L'influence de la pesanteur sur la position du corps** est assurée par le mouvement de cristaux de carbonate de calcium sur des cellules ciliées de la macula de l'utricule et du saccule.

C. L'olfaction

1. **L'odorat** est une réponse de cellules spécialisées, appelées **cellules ganglionnaires bipolaires** (ou neurones olfactifs)* à des stimuli gazeux.
2. Le **mécanisme de l'odorat** est assuré par un mécanisme de transduction ligand-récepteur.
3. Il y a **quatre types primaires de stimuli olfactifs** : l'acide, le brûlé, le parfumé et le rance.
 - a) Les stimuli olfactifs influencent les neurones olfactifs d'une muqueuse hautement spécialisée, le **neuroépithélium**, localisé au **plafond de chaque cavité nasale**.
 - b) *La courte dendrite des neurones olfactifs se termine par un bouton olfactif à partir duquel naissent une vingtaine de longs **cils olfactifs** immobiles (absence de dynéine)*. La membrane de ces cils contient des récepteurs qui se lient aux molécules odorantes. Cette liaison donne naissance à des **influx nerveux** qui sont ensuite acheminés vers les centres par le premier nerf crânien.

D. La gustation

Le mécanisme du goût est analogue à celui de l'odorat.

1. Les **cellules épithéliales des bourgeons du goût**, situés sur la langue, possèdent des récepteurs susceptibles de se lier à des substances dissoutes dans la salive.
2. Les **quatre types de récepteurs gustatifs** sont des récepteurs se liant à des ligands spécifiques caractérisant l'amer, le salé, l'acide et le sucré. Ils sont distribués sur des régions spécifiques de la langue.
 - a) Les **régions de la langue**. L'amertume* est perçue à l'arrière de la langue. Le salé et l'acidité sont détectés sur les parties latérales de la langue et le sucré l'est à sa pointe.
 - b) **Innervation et transmission**. L'information gustative est acheminée vers les centres par le **VII^e nerf crânien** en ce qui concerne les

deux tiers antérieurs de la langue et par le **IX^e nerf crânien** pour ce qui concerne le tiers postérieur.

E. Le toucher

1. La **peau** intervient dans la perception sensorielle ; elle contient des terminaisons nerveuses et des récepteurs spécialisés qui détectent la douleur, le contact, la température, la pression, les vibrations et la proprioception (connaissance de la position des articulations dans l'espace).
2. Les **terminaisons nerveuses libres** sont stimulées directement par contact entre un objet et la surface du corps.
3. Les **structures réceptrices** distinguent différents types de stimuli (figure 8-10).
 - a) Les **corpuscules de Pacini** répondent aux changements de pression et sont, par conséquent, capables de détecter les vibrations.
 - b) Les **corpuscules de Meissner** sont surtout localisés dans les régions glabres du corps (particulièrement les mains et les pieds) et sont sensibles au toucher fin. Les **disques de Merkel** répondent aux mêmes types de stimuli.

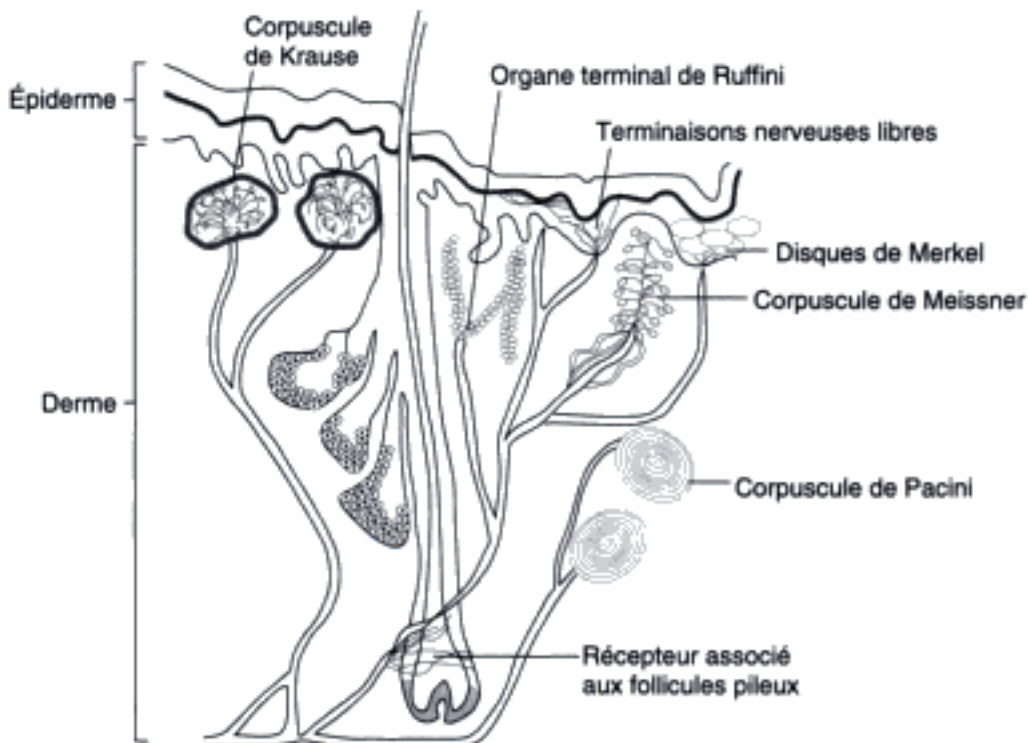


Figure 8.10 Structures sensorielles de la peau

(Reproduite avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*. Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 880).

- c) Les **organes terminaux de Ruffini** sont localisés dans le derme. Ils répondent à la chaleur et au toucher.
- d) Les **corpuscules de Krause** sont activés par des changements de température. Pour de plus amples informations concernant l'anatomie de la peau, se reporter aux chapitres 7 et 16.

9

Le système endocrinien

1. Fonctions du système endocrinien

A. Introduction

Comme le système nerveux, le système endocrinien intervient dans le maintien de l'homéostasie. Les systèmes nerveux et endocrinien modulent, intègrent et contrôlent les activités corporelles. Les deux systèmes rendent également le corps capable de répondre à l'environnement. Cependant, alors que les effets du système nerveux sont rapides et de courte durée, ceux du système endocrinien sont plus lents et de plus longue durée. Pour contrôler l'homéostasie, le système endocrinien fait intervenir des boucles de rétroaction similaires à celles utilisées par le système nerveux. Les hormones sécrétées par les glandes endocrines régulent la physiologie des organes et, en retour, le fonctionnement des systèmes d'organes régule la sécrétion des hormones. Ces boucles de rétroaction peuvent être positives ou négatives et elles sont continuellement surveillées et ajustées.

B. Les hormones

Les hormones sont des substances contrôlées, produites par des glandes, ou un ensemble de cellules, sans canaux excréteurs mais richement vascularisées*, et transportées par voie sanguine jusqu'aux cellules cibles.

1. Les catégories chimiques des hormones

- a) Les **amines** sont des hormones qui dérivent de l'acide aminé tyrosine. Les hormones de la médullosurrénale (adrénaline et, en très faibles quantités*, la noradrénaline) et les hormones de la thyroïde [triiodothyronine (T_3) et thyroxine (T_4)] en sont les exemples.
- b) Les hormones **peptidiques ou glycopeptidiques** sont de courtes chaînes d'acides aminés. Citons les hormones hypothalamiques (ocytocine et vasopressine), les hormones adénohypophysaires, pancréatiques, parathyroïdienne, etc.

- c) Les **hormones lipidiques** sont hautement hydrophobes, ce qui leur permet de traverser facilement les membranes biologiques.
 - (1) Les **prostaglandines** sont des hormones lipidiques synthétisées à partir d'acides gras précurseurs. Parmi leurs fonctions, citons :
 - (a) La diminution de la pression sanguine
 - (b) L'induction du travail lors de l'accouchement
 - (c) La suppression des sécrétions gastriques
 - (d) L'intervention dans l'inflammation
 - (2) Les **hormones stéroïdes** sont synthétisées à partir du cholestérol. Parmi ces hormones, citons le cortisol, l'aldostérone et les hormones sexuelles telles l'oestradiol et la testostérone.
- d) Les **hormones iodées** sont couplées à de l'iode inorganique. Les hormones thyroïdiennes T_3 et T_4 en sont les exemples.

2. Mécanismes d'action

- a) La **spécificité avec une cible**, qui caractérise le système endocrinien, est due aux **récepteurs** spécifiques exprimés par les cellules de l'organisme. Les hormones, libérées par les cellules endocrines, se lient à ces récepteurs et, de cette façon, provoquent un changement dans la physiologie de cette cellule. Ce changement comprend souvent l'activation de gènes spécifiques et l'induction d'une synthèse protéique.
- b) Les **récepteurs d'hormones** ont **trois localisations** possibles.
 - (1) La **membrane plasmique de la cellule cible** contient des récepteurs auxquels les hormones, constituées d'acides aminés (e.g., amines, peptides, protéines), se lient (figure 9-1A). Cette interaction ligand-récepteur déclenche, par l'intermédiaire d'une protéine G (car se liant au guanosine triphosphate = GTP), la production d'un second messenger, tel que l'adénosine monophosphate cyclique (AMPc)*, qui initie une cascade d'événements aboutissant à de multiples conséquences physiologiques*.
 - (2) Les récepteurs d'hormone peuvent aussi se trouver à **l'intérieur de la cellule**. Certaines hormones (stéroïdes, hormones thyroïdiennes) entrent dans la cellule cible grâce à des **transporteurs membranaires***.
 - (a) Les hormones stéroïdes, après avoir traversé la membrane plasmique se lient à leurs récepteurs dans le **cytoplasme de la cellule cible** (voir figure 9-1B). Ce complexe ligand-récepteur gagne ensuite le noyau et active la transcription des gènes.
 - (b) Après son entrée dans la cellule cible, l'hormone T_4 est transformée en T_3 dans le cytoplasme*. T_3 gagne le **noyau**, où sont localisés ses récepteurs, se lie à eux, activant ainsi la transcription des gènes (voir figure 9-1B).

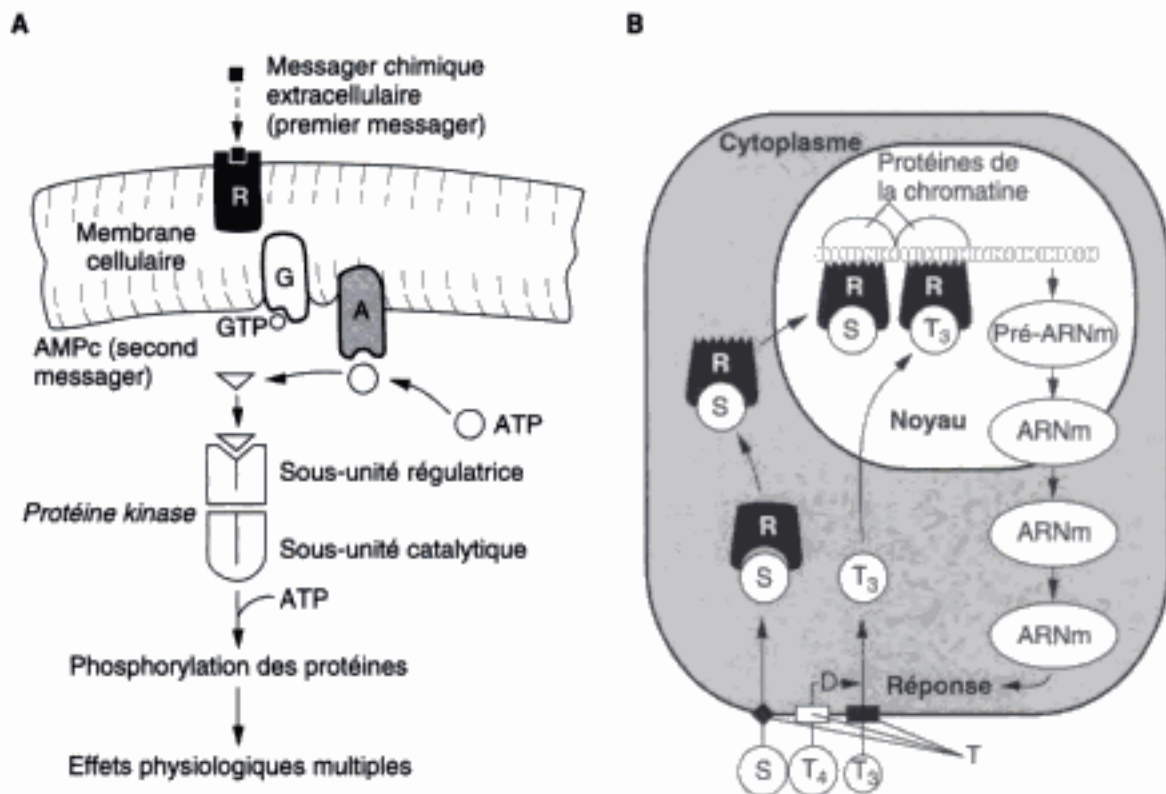


Figure 9.1 Mécanismes d'action des hormones

A) La liaison d'une hormone à un récepteur cellulaire membranaire entraîne l'activation d'une protéine kinase. **B)** La liaison d'hormones à des récepteurs cytoplasmiques ou nucléaires provoque l'activation de la transcription des gènes. GTP = guanosine triphosphate ; ATP = adénosine triphosphate ; AMPc = adénosine monophosphate cyclique ; A = adényl cyclase ; D = désiodinase ; G = protéine G ; R = récepteur ; S = hormone stéroïde ; T = transporteur ; T₃ ou T₄ = hormones thyroïdiennes [reproduit avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*, Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 906 ; **B** a été légèrement modifié par le traducteur]

3. Transport et élimination

- De nombreuses hormones ne sont actives que lorsqu'elles sont à l'état libre.** Lorsque, dans le sang, elles sont liées à une protéine (de transport), elles sont souvent inactives*.
- Les hormones libres sont constamment éliminées** par les tissus cibles, le foie (qui les dégrade) et les reins (qui les excrètent). Résultat, les hormones sont **continuellement sécrétées** en petites quantités si bien qu'il y a assez d'hormone libre pour activer les cellules cibles.

2. Les principales glandes endocrines

A. L'hypophyse

L'hypophyse est la glande maîtresse du système endocrinien. Elle est divisée en deux lobes : antérieur et postérieur. Les fonctions de l'hypophyse dépendent fortement de la régulation hypothalamique.

1. L'hypophyse antérieure (figure 9-2A) se développe à partir de l'ectoderme de la cavité buccale. Elle est connectée à l'hypothalamus par un réseau vasculaire comportant deux lits capillaires reliés par des veines : le **système porte hypothalamo-hypophysaire***.

a) Dans la **circulation normale**, le sang s'écoule d'une artère à une veine après avoir traversé un réseau de capillaires.

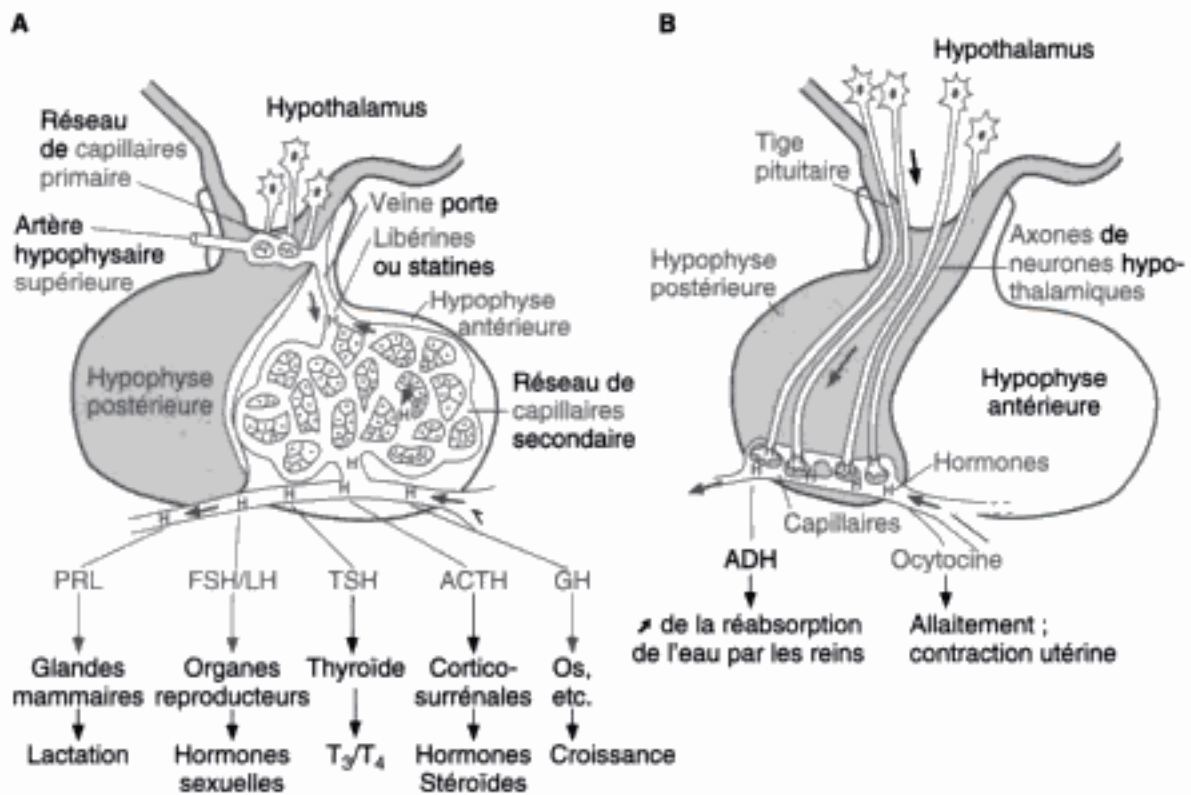


Figure 9.2 Organisation de l'hypophyse

A) Les cellules de l'hypothalamus produisent des libérines, ou des statines, qui empruntent un système porte pour atteindre l'hypophyse antérieure. Celle-ci synthétise ses hormones après avoir été stimulée par les libérines. **B)** L'hypophyse postérieure n'est qu'un lieu de stockage et de libération d'hormones hypothalamiques. Les neurones de l'hypothalamus produisent des neurohormones et les transportent, par le flux axonal, jusqu'à l'hypophyse postérieure où ils les libèrent dans le sang. ACTH = Hormone adrénocorticotrope ; ADH = Hormone antidiurétique ; FSH/LH = Hormones gonadotropes ; GH = Hormone de croissance (somatotrope) ; PRL = Prolactine ; TSH = Hormone thyroïdienne. (Reproduite avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : Biology. Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 919).

b) Dans un **système porte**, le sang s'écoule d'une artère dans un premier réseau de capillaires (localisé ici à la base de l'hypothalamus), est repris par des veines (veines portes hypophysaires) avant de traverser un second réseau de capillaires (situé dans le lobe antérieur de l'hypophyse) et de retrouver enfin un second système veineux*. **L'hypothalamus** sécrète des facteurs peptidiques de libération (libérines), ou d'inhibition (statines), qui stimulent, ou bloquent, la sécrétion des hormones antéhypophysaires suivantes* :

(1) L'hormone de croissance (GH = hormone somatotrope*) est une glycoprotéine qui stimule la croissance des os et des muscles et qui augmente la glycémie (taux de glucose sanguin)*.

(2) L'hormone stimulant les follicules (FSH = hormone gonadotrope*)

(a) Chez la **femme**, la FSH stimule la croissance des follicules et la maturation des ovocytes.

(b) Chez l'**homme**, la FSH stimule la spermatogenèse.

(3) L'hormone lutéinisante (LH = autre hormone gonadotrope)

(a) Chez la **femme**, la LH stimule l'ovulation et la formation du corps jaune. Elle régule aussi la production, par les cellules folliculaires, des œstrogènes et de la progestérone.

(b) Chez l'**homme**, la LH (plus exactement l'**ICSH** = hormone stimulant les cellules interstitielles)* stimule la production de testostérone par les cellules de Leydig.

(4) L'hormone stimulant la thyroïde (TSH = hormone thyroïdienne*) stimule la production des hormones thyroïdiennes T_3 et T_4 . Elle régule aussi l'iodation de ces hormones.

(5) L'hormone adrénocorticotrope (ACTH) stimule la croissance des corticosurrénales. Elle stimule la libération des glucocorticoïdes (cortisol)* et des androgènes surrénaliens, mais pas celle des minéralocorticoïdes (aldostérone)*.

(6) La prolactine (PRL)* stimule la production de lait par les glandes mammaires.

(7) L'hormone stimulant les mélanocytes (MSH = hormone mélanotrope*) stimule la production de mélanine (pigment cutané) par les mélanocytes.

2. L'hypophyse postérieure (voir figure 9-2B) se développe à partir du neuroectoderme. Elle est reliée à l'hypothalamus par tout une série d'axones issus de neurones. Ces neurones produisent deux neurohormones peptidiques qui descendent, grâce au flux axonal, jusque dans l'hypophyse postérieure où elles sont libérées dans la **circulation systémique**.

- a) L'hormone antidiurétique (ADH), ou **vasopressine** (AVP pour arginine vasopressine)*, agit au niveau des tubes collecteurs rénaux pour réabsorber l'eau et augmente la pression artérielle en provoquant une vasoconstriction artériolaire*.
- b) L'ocytocine stimule la contraction du muscle lisse utérin et des cellules myoépithéliales mammaires pendant le travail et l'allaitement

B. La thyroïde

1. **Structure.** À cheval sur la face antérieure de la trachée, la glande thyroïde est faite de **deux lobes** réunis par un isthme.
2. **Hormones.** Deux types d'hormones sont produits par la glande thyroïde.
 - a) Les **hormones thyroïdiennes folliculaires***, T_3 et T_4 , ont les fonctions suivantes : elles
 - (1) contrôlent le métabolisme
 - (2) régulent la croissance, la différenciation et la maturation
 - (3) modulent le système nerveux
 - b) La **calcitonine, hormone thyroïdienne parafolliculaire***, provoque une diminution de la calcémie (taux de calcium sanguin)* en favorisant le dépôt de calcium dans les os, en inhibant l'activité des ostéoclastes et en incitant les reins à excréter le calcium*.

C. Les glandes parathyroïdes

1. **Structure.** Il y a normalement **deux paires de glandes parathyroïdes** enchâssées dans le tissu de la glande thyroïde.
2. **Hormone des parathyroïdes.** La **parathormone (PTH)** est la seule hormone élaborée par les glandes parathyroïdes. La PTH **augmente la calcémie** en :
 - a) stimulant la résorption de l'os par les ostéoclastes
 - b) diminuant l'excrétion du calcium et en augmentant sa réabsorption par les reins.
 - c) activant la vitamine D qui facilite l'absorption intestinale du calcium*.

D. Le pancréas

Le pancréas est une glande à la fois **exocrine** et **endocrine** : il est amphicrine*. Ses activités exocrines sont exposées dans le chapitre 12. Ses activités endocrines sont assurées par les **îlots de Langerhans** qui sécrètent les substances suivantes.

1. Le **glucagon** est synthétisé par les cellules α . Il augmente la glycémie en stimulant la glycogénolyse et la gluconéogenèse dans le foie. Le glucagon peut aussi mobiliser les lipides du tissu adipeux.

2. **L'insuline** est élaborée par les cellules β . Elle fait diminuer la glycémie en stimulant la glycogénogenèse* dans le foie. Elle facilite le prélèvement et l'utilisation du glucose par les cellules ; elle stimule le stockage des lipides et la synthèse des protéines.
3. La **somatostatine** est produite par les cellules δ . Elle inhibe la production de sécrétine par les cellules endocrines duodénales* et ralentit la motilité gastro-intestinale. Elle inhibe également la libération de la GH (c'est surtout le cas de la somatostatine hypothalamique)*.

E. Les glandes surrénales

Les glandes surrénales, constituées d'un ensemble de deux structures, sont situées sur le bord supérieur des reins. Elles sont composées d'un cortex externe (corticosurrénale) dérivé du mésoderme, entourant une médulla interne (médulosurrénale) dérivée du neuroectoderme* (figure 9-3).

1. La **corticosurrénale** est subdivisée en trois couches : la **zone glomérulée**, la **zone fasciculée** et la **zone réticulée**. Chaque zone produit des hormones différentes.

a) **L'aldostérone** est produite par la **zone glomérulée**. C'est un minéralocorticoïde qui agit au niveau du rein pour réguler l'équilibre ionique en :

- (1) stimulant la réabsorption du sodium et des chlorures
- (2) favorisant la sécrétion du potassium et du phosphore
- (3) provoquant la rétention d'eau au niveau du tube contourné distal du néphron.

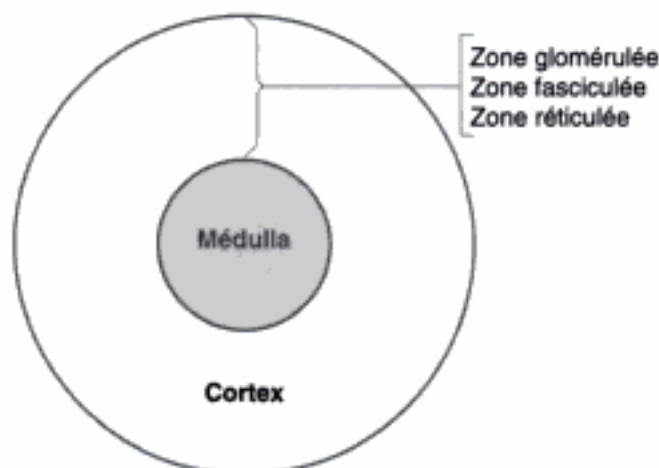


Figure 9.3 Coupe transversale d'une surrénale

La couche externe de la glande est le cortex. La couche interne est la médulla.

- b) Le **cortisol** est produit par la **zone fasciculée**. C'est une hormone glucocorticoïde de « stress » qui :
 - (1) augmente la glycémie en favorisant la transformation des acides aminés en glucose (gluconéogenèse) au lieu d'en faire des protéines
 - (2) déprime le système immunitaire
 - (3) inhibe la réponse inflammatoire
 - c) Les **stéroïdes sexuels** (œstrogènes, mais surtout* androgènes) sont produits par la **zone réticulée**. Ils développent les caractères sexuels secondaires et régulent les fonctions de reproduction.
2. La **médullosurrénale** est un ganglion de la chaîne sympathique : elle reçoit des fibres sympathiques préganglionnaires qui font synapse sur ses neurones ganglionnaires*. Ceux-ci libèrent essentiellement de l'**adrénaline** et de très faibles quantités* de **noradrénaline**. Ces hormones aident l'organisme à surmonter le stress en
- a) augmentant le rythme cardiaque et la pression sanguine
 - b) augmentant la glycémie
 - c) augmentant le métabolisme
 - d) mobilisant les lipides.

10

Le système circulatoire

1. Vue d'ensemble des constituants du système circulatoire

A. Fonction

Le système circulatoire est un système clos de vaisseaux qui assurent plusieurs fonctions dont :

1. **L'apport de nutriments et d'oxygène** aux tissus de l'organisme
2. **L'élimination des produits de déchets** venant des tissus
3. **Le maintien de la température corporelle** grâce à la thermorégulation (voir chapitre 16)
4. Le transport des éléments figurés du sang
5. **Le transfert des hormones**, de leur site de production à leurs tissus cibles.

B. Structures

1. Le **cœur** est un organe creux, comportant quatre cavités : deux **oreillettes** à la base, deux **ventricules** à l'apex, qui communiquent par paire*. Le cœur propulse le sang dans tout le système circulatoire (figure 10-1).
 - a) Le myocarde est fait de **cellules musculaires** (myocytes) **cardiaques**, interconnectées par des **disques intercalaires**.
 - b) Provenant de la circulation veineuse, le sang pénètre dans le cœur par les oreillettes, passe dans les ventricules qu'il quitte pour la circulation artérielle.
 - c) La présence de **valvules**, entre les couples oreillette-ventricule (valvules auriculo-ventriculaires)* et ventricule-artère (valvules sigmoïdes)*, empêche le reflux du sang lors de la contraction (systole)* et assure un écoulement sanguin unidirectionnel.

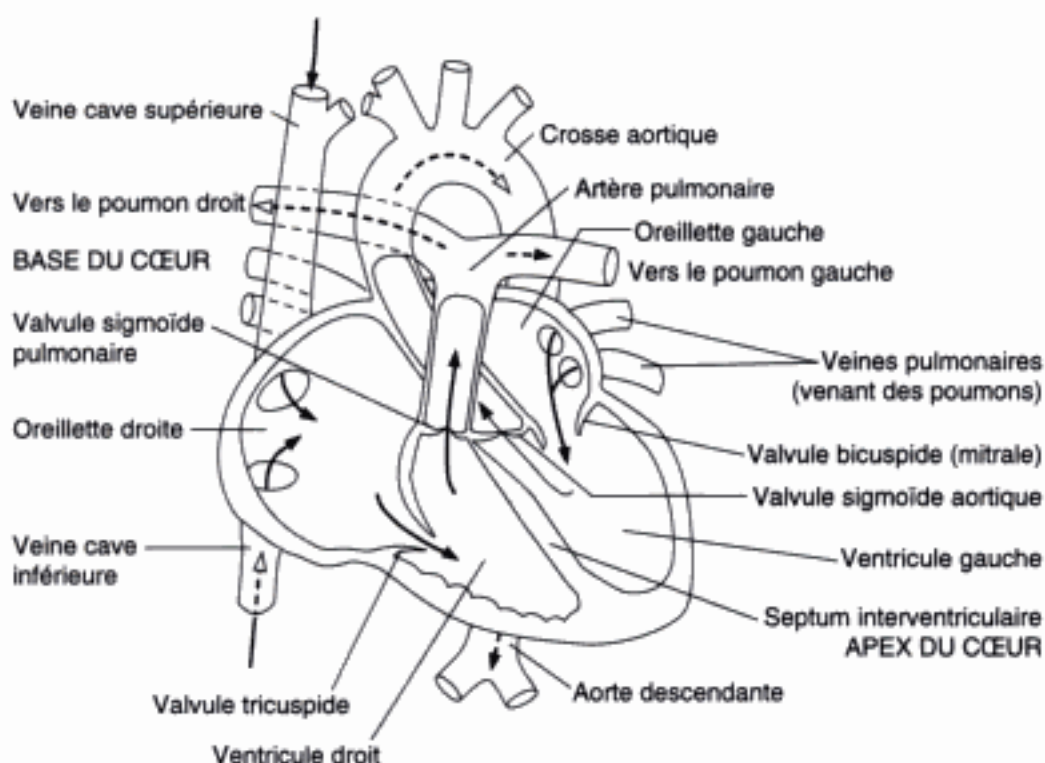


Figure 10.1 Anatomie du cœur adulte

2. Le cœur possède un **tissu de conduction** (tissu cardio-necteur)*, d'**origine musculaire**, qui lui assure son rythme intrinsèque (figure 10-2). Il est constitué des nœuds sino-auriculaire et auriculo-ventriculaire, du faisceau de His et du réseau de Purkinje.
 - a) Le **nœud sino-auriculaire (NSA)** est un petit groupe de cellules, localisé à la jonction de la veine cave supérieure et de l'oreillette droite. Le NSA est le « **pacemaker** » (l'entraîneur, le stimulateur) **du cœur** : 100 fois par minute environ, ses cellules se dépolarisent spontanément, donnant naissance à un potentiel d'action cardiaque*. **Ce PA provoque la contraction auriculaire.**
 - b) Le **nœud auriculo-ventriculaire (NAV)** est situé à la jonction de l'oreillette et du ventricule droits. La dépolarisation de l'oreillette entraîne la dépolarisation du NAV.
 - c) Le **faisceau de His** transporte la dépolarisation au travers du septum interventriculaire. Très tôt, il se divise en **deux branches, droite et gauche**, qui conduisent l'influx, du faisceau de His à chaque ventricule.
 - d) Le **réseau de Purkinje**, qui court sous l'endocarde*, propage l'influx des branches du faisceau au tissu des ventricules et les dépolarise : cette dépolarisation entraîne finalement la contraction ventriculaire.

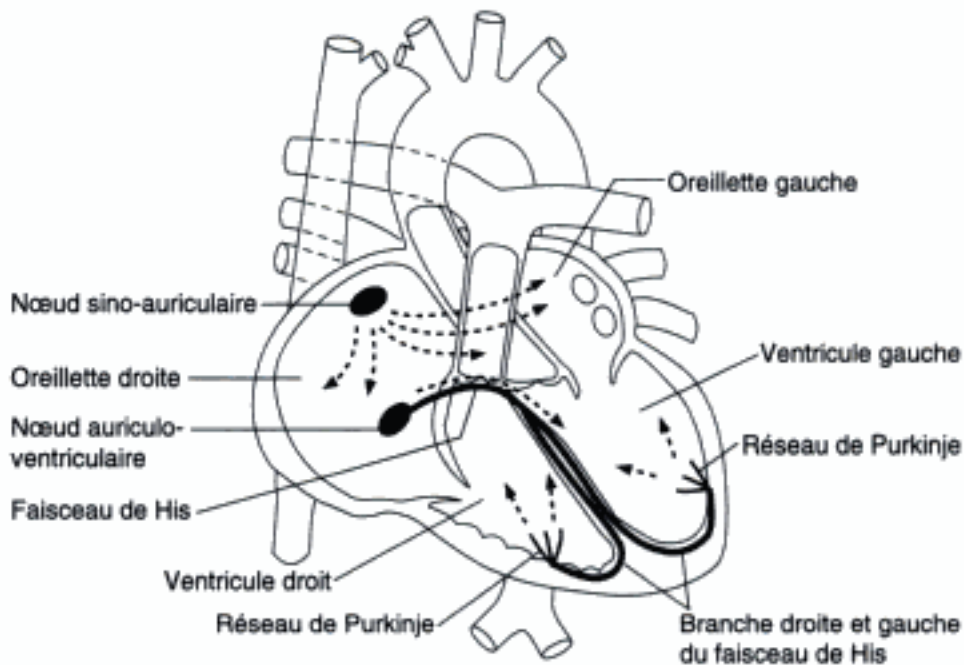


Figure 10.2 Le système de conduction de l'influx cardiaque

(Reproduit avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*. Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 749).

3. * Le cœur est **innervé par le système nerveux végétatif** qui module son activité.
 - a) **L'innervation parasympathique** est assurée par le nerf vague. Elle ralentit le rythme cardiaque à environ 70 battements par minute au repos (frein vagal)*.
 - b) **L'innervation orthosympathique** accélère le rythme cardiaque.
4. Les **vaisseaux sanguins** sont composés de plusieurs couches de cellules (figure 10-3).

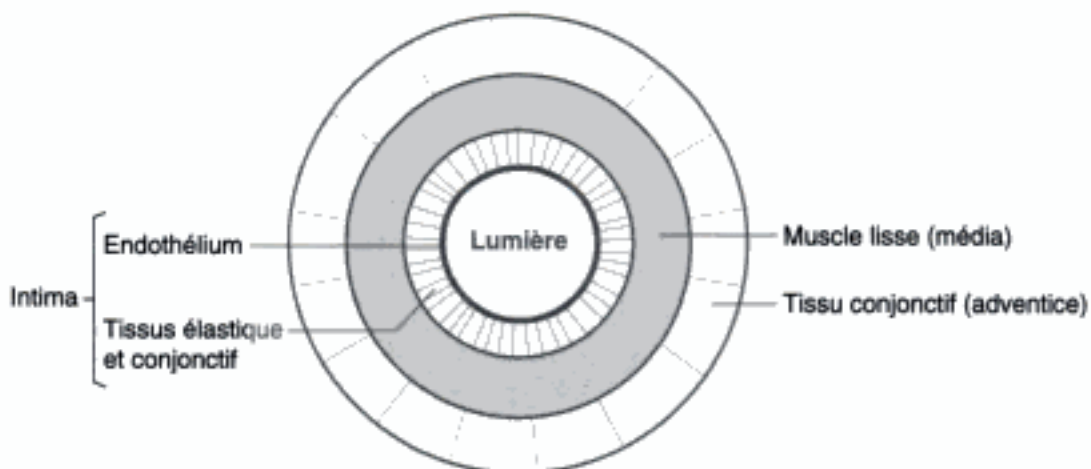


Figure 10.3 Coupe transversale d'un vaisseau sanguin

- a) Les **artères** transportent le sang oxygéné (hémosé)* loin du cœur (à l'exception de l'artère pulmonaire qui transporte du sang carbonaté). Les artères ont une **pression interne plus élevée** que celle des veines. Les artères **ne contiennent pas de valvules**, mais les couches de muscle lisse et de tissu conjonctif y sont plus épaisses.
- b) Les **veines** ramènent le sang carbonaté au cœur (à l'exception des veines pulmonaires qui transportent du sang hémosé). Elle ont une **pression interne plus faible** que celle des artères. Les veines, situées au-dessous du cœur*, **contiennent des valvules** : celles-ci facilitent le retour du sang qui doit lutter contre la gravité. Elles possèdent une couche élastique épaisse et des couches minces de tissu musculaire lisse et de tissu conjonctif. Les veines contrôlent la **pression sanguine en contrôlant le volume sanguin**.
- c) Les **capillaires** relient les artérioles aux veinules. Ils sont le lieu d'échanges entre le sang circulant et les tissus de l'organisme. La **dynamique des capillaires** décrit les mouvements de liquide, des nutriments et des produits de déchet entrant ou sortant de, la lumière des capillaires (figure 10-4). Il y a plus de liquide qui sort du capillaire qu'il n'en rentre.
- (1) **Côté artériel.** Le sang qui entre dans les capillaires du côté artériel a une pression hydrostatique élevée, qui force le liquide à sortir, et une pression oncotique (pression osmotique due aux protéines), qui attire les liquides (eau), relativement basse. Le **mouvement net est en faveur d'une sortie d'eau des capillaires**.
- (2) **Côté veineux.** À l'extrémité veineuse du capillaire, la pression oncotique, qui incite l'eau à revenir dans le capillaire, est plus

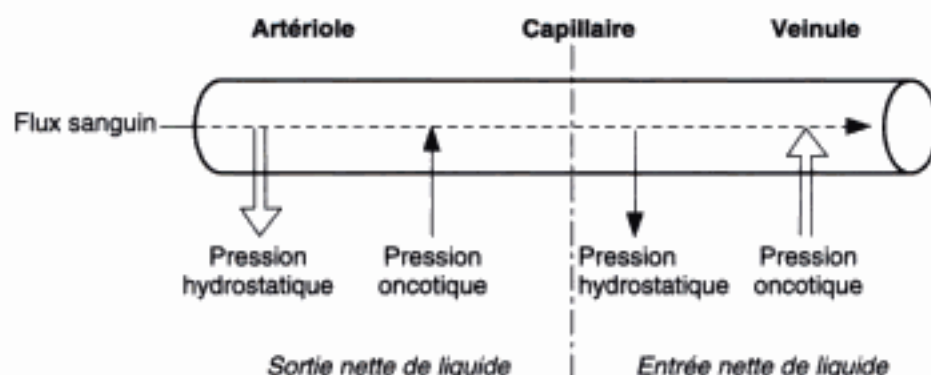


Figure 10.4 Dynamique des capillaires

Noter que la pression hydrostatique est la force dominante à l'extrémité artérielle du capillaire, alors que la pression oncotique l'est à l'extrémité veineuse. La quantité de liquide qui sort du capillaire est supérieure à celle qui y rentre.

Tableau 10.1 Caractéristiques des éléments figurés du sang

Éléments figurés	Synonymes	Fonctions	Aspects	Durées de vie
Globules rouges	Hématies	Transport de l'oxygène	Disques biconcaves, sans noyau	120 jours
Globulins	Plaquettes	Hémostase	Petits fragments cytoplasmiques	10 jours
Globules blancs	Leucocytes	Fonction immunitaire	Cellules nucléées ; le type de cellule dépend de la forme du noyau et de la présence ou non de granules cytoplasmiques*	Variable

forte que la pression hydrostatique qui la pousse à en sortir. Le **mouvement net** se traduit par un **gain d'eau dans le capillaire**.

5. Le **sang** est composé de plasma et d'éléments figurés (cellules, excelles et fragments cellulaires)*.

a) ***Le plasma** est constitué d'eau, de protéines et de sels minéraux présents sous forme ionisée (électrolytes). L'albumine, les immunoglobulines, le fibrinogène et les enzymes participant à l'hémostase sont parmi les protéines les plus abondantes. Le **sérum** est un dérivé du plasma : il ne contient plus les protéines qui ont participé à la coagulation du sang.

b) Les grandes catégories d'**éléments figurés** sont répertoriées dans le tableau 10-1. Les plaquettes sont des fragments de cellules, provenant de la fragmentation de cellules à noyau volumineux (les mégacaryocytes)*, qui participent à l'hémostase. Le rôle des leucocytes est discuté dans le chapitre 11 et celui des hématies dans le chapitre 15.

6. Le **système lymphatique** régule le retour du liquide à la circulation.

a) Fonction.

Comme la quantité d'eau qui quitte le réseau capillaire est supérieure à celle qui y retourne, l'organisme doit posséder un moyen de faire revenir l'excès de liquide dans le système circulatoire. Cette tâche est accomplie par le **système lymphatique**.

b) Structures

(1) Les **vaisseaux lymphatiques**, qui débutent par des capillaires à l'extrémité aveugle, ramènent l'eau, les électrolytes, les protéines et des produits de déchets à la circulation sanguine. Comme les vaisseaux lymphatiques possèdent des valvules et n'ont pas de couche musculaire (figure 10-5), ils comptent sur les muscles squelettiques, entre lesquels ils sont localisés, pour propulser le liquide vers les veines sous-clavières*.

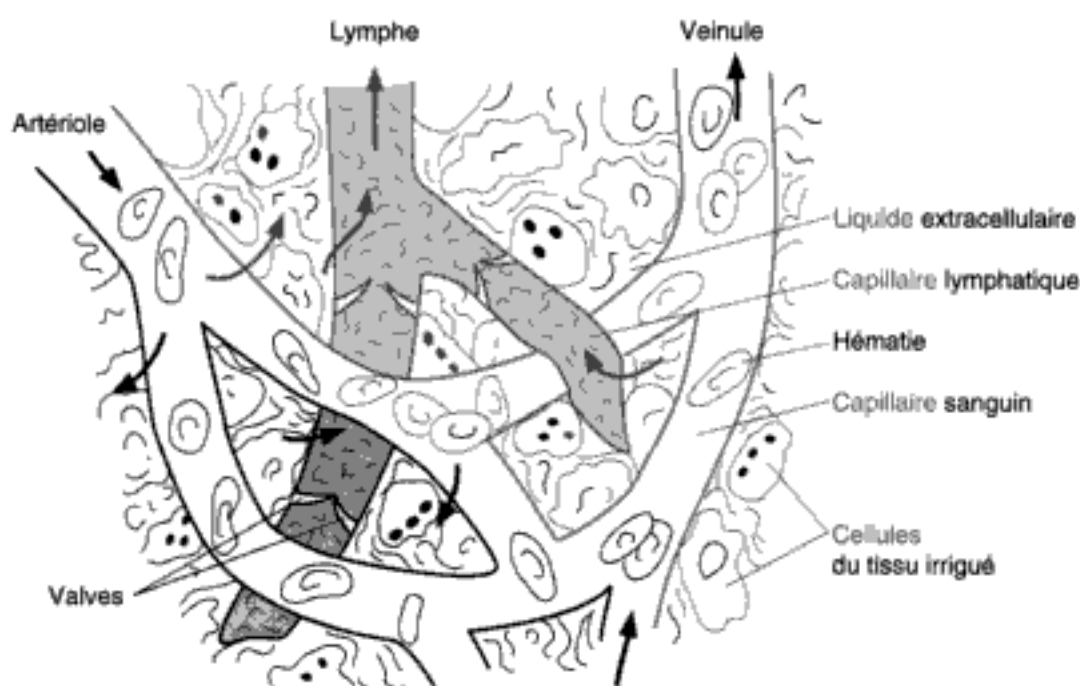


Figure 10.5 Structure des vaisseaux lymphatiques et leurs relations avec les tissus et les vaisseaux sanguins*

(Reproduit avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*, Philadelphia, Saunders College publishing, 1985, p 761).

- (2) La **lymphe**, ou liquide lymphatique, est filtrée par les **ganglions** et les **tissus lymphatiques**, qui aident le système immunitaire à identifier les agents étrangers (voir chapitre 11).

c) Organisation anatomique

- (1) **Centrale.** Les sites de formation et de maturation des leucocytes sont la moelle rouge des os et le thymus.
- (2) **Périphérique.** Les sites de sensibilisation initiale des cellules immunitaires sont les ganglions lymphatiques, les amygdales, les plaques de Peyer et l'appendice.
- (3) **Tertiaire.** Des lymphocytes interépithéliaux isolés sont présents.

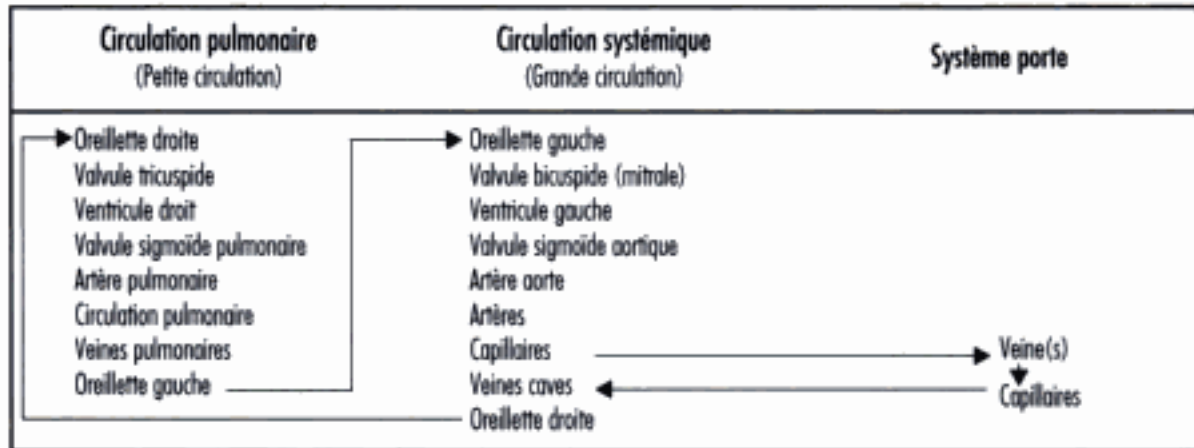
2. Mécanismes de la circulation

A. Circulation adulte

Le sang revient par la circulation veineuse et se déverse dans l'oreillette droite. Le tableau 10-2 énumère les structures que le sang traverse ou néglige lors de la circulation.

B. Circulation fœtale

L'objectif global de la circulation fœtale est de **faire arriver les nutriments et l'oxygène maternels** au côté gauche du cœur fœtal. La circu-

Tableau 10.2 Structures de la circulation sanguine adulte, énumérées dans l'ordre de leur implication dans la circulation*.

lation fœtale possède plusieurs structures qui n'existent pas dans la circulation adulte. Bien qu'il n'y ait pas d'échanges de cellules sanguines entre la mère et le fœtus, les nutriments, les produits de déchets, les anticorps, telle que l'immunoglobuline G (IgG), et les gaz respiratoires sont échangés.

1. La **circulation maternelle** s'écoule, à partir de la circulation systémique, et dans l'ordre, par l'artère placentaire, puis le réseau des capillaires placentaires et enfin la veine placentaire.
2. **Pour aller au placenta, puis en revenir, la circulation fœtale** s'écoule des artères ombilicales (sang carbonaté) au placenta, puis emprunte la veine ombilicale (sang oxygéné), le ductus venosus, le cœur, la circulation systémique et, enfin, retourne aux artères ombilicales.
3. **Les structures du cœur fœtal** comprennent notamment les éléments suivants :
 - a) Le **ductus venosus**. Étant donné que l'oxygène et les nutriments entrent dans la circulation fœtale par la veine ombilicale, ils doivent être transportés directement au ventricule gauche afin de rendre leur distribution à la circulation systémique la meilleure possible. Le ductus venosus est une **connexion entre la veine ombilicale et la veine cave inférieure**. Ce canal permet aux substances d'éviter le foie fœtal.
 - b) Le **foramen ovale**. Le **foramen ovale** est un **orifice qui relie les oreillettes droite et gauche** du cœur fœtal. Chez le fœtus, les poumons ne sont pas complètement fonctionnels puisqu'il n'y a pas d'échanges gazeux avec l'environnement. La résistance à l'écoulement sanguin des poumons en collapsus y est donc élevée. Par conséquent, court-circuiter la circulation pulmonaire permet la

distribution de la masse des nutriments à la circulation systémique et une économie d'énergie.

- c) Le **ductus arteriosus**. Comme tout le sang qui pénètre dans le cœur droit ne traverse pas le foramen ovale, le ductus arteriosus facilite le shunt du sang qui entre dans le ventricule droit. Le ductus arteriosus est une **connexion entre l'artère pulmonaire et l'artère aorte**. Comme précédemment, ce dispositif permet la distribution directe des nutriments à la circulation systémique, en évitant les poumons fœtaux.

4. La circulation fœtale dans le cœur, et aux alentours, est la suivante

- a) Une certaine quantité du sang, qui pénètre dans l'oreillette droite, traverse le foramen ovale et gagne l'oreillette gauche. Ceci court-circuite le ventricule droit et les poumons. Ce sang est finalement expulsé dans l'artère aorte par le ventricule gauche.
- b) Une certaine quantité du sang entrant dans l'oreillette droite pénètre dans le ventricule droit.
- c) Le sang qui entre dans le ventricule droit est expulsé dans l'artère pulmonaire.
- d) De l'artère pulmonaire, la majeure partie du sang gagne l'artère aorte par le ductus arteriosus.

3. La pression sanguine

Les oreillettes ont une pression moyenne plus faible que celle qui règne dans les ventricules car les parois musculaires des oreillettes sont plus minces et, de ce fait, elles ne peuvent pas engendrer une aussi grande force de contraction. La moitié gauche du cœur a une pression moyenne plus élevée que celle qui règne dans la moitié droite, car les parois du cœur y sont plus épaisses. Le côté gauche engendre une force de contraction plus grande.

- A. La pression sanguine systolique** est la pression maximale obtenue pendant la contraction du cœur (systole)*.
- B. La pression sanguine diastolique** est la pression minimale obtenue lors de la relaxation et du remplissage du cœur (diastole)*.

11

Le système immunitaire

1. Introduction

De nombreux mécanismes permettent au corps humain de faire face aux substances étrangères. Cependant, les mêmes mécanismes, qui permettent à l'organisme de résister aux infections bactériennes, par exemple, peuvent aussi, dans certaines circonstances (autoimmunité), provoquer une lésion tissulaire ou une maladie. **L'immunité** est donc définie comme une **réaction à des agents étrangers** n'impliquant pas de conséquences physiologiques ou pathologiques à cette réaction. Selon cette définition, les **microbes** (e.g., bactéries, virus, champignons, parasites), les **cellules hôtes infectées par des microbes**, les **cellules cancéreuses** et des **macromolécules** (e.g., protéines, polysaccharides) **font partie des agents étrangers**.

2. Types d'immunité

A. L'immunité naturelle (aussi appelée immunité innée ou native) décrit les mécanismes de défense présents avant toute exposition à des agents étrangers. Les réactions de l'immunité naturelle ne sont pas spécifiques. Les mécanismes de défense sont les suivants :

1. Des **barrières physico-chimiques** — peau et membranes muqueuses
2. Des **molécules présentes dans le sang** — le complément
3. Des **cellules immunitaires** — cellules pratiquant la phagocytose (macrophages, granulocytes neutrophiles), et cellules tueuses naturelles.
4. Des **médiateurs solubles** — cytokines (substances de régulation) dérivées des cellules immunitaires

B. L'immunité acquise est le résultat de la stimulation ou de l'induction d'autres mécanismes de défense dues à une exposition à des substances étrangères (i.e., des antigènes). Ces réactions sont spécifiques pour des molécules bien définies et augmentent, en amplitude et en efficacité, lors des expositions ultérieures au même stimulus.

1. Le système immunitaire acquis, ou spécifique, possède une **fonction mémoire** dans laquelle des **cellules sensibilisées sont conservées** après éradication du stimulus, si bien qu'elles peuvent répondre rapidement lors de futures rencontres avec le même stimulus. Ce type d'immunité a également la capacité **d'amplifier les mécanismes protecteurs de l'immunité naturelle** et d'**orienter ces mécanismes vers le site d'entrée** de l'antigène.
2. Les **caractéristiques de l'immunité spécifique** comprennent :
 - a) des **barrières physico-chimiques** — systèmes immunitaires cutané et muqueux ; anticorps des sécrétions muqueuses
 - b) des **molécules présentes dans le sang** — des anticorps
 - c) des **cellules immunitaires** — des lymphocytes
 - d) des **médiateurs solubles** — des cytokines dérivées de lymphocytes
3. Les **types d'immunité spécifique** comprennent :
 - a) **Immunité active** — une réaction immunitaire spécifique d'un individu à la suite d'une exposition à un antigène. Un **certain délai** (période d'incubation)* est nécessaire pour que le système immunitaire soit activé.
 - b) **Immunité passive** — immunité spécifique conférée à un individu par transfert de cellules, ou d'un sérum, provenant d'une autre personne immunisée. À la suite d'un tel transfert, les réponses immunitaires sont immédiatement actives.
4. Les **catégories d'immunité spécifique** comprennent :
 - a) ***L'immunité à médiation humorale** — immunité passive ou active, faisant intervenir des substances dissoutes (i.e., des anticorps) dans le plasma. Ces anticorps sont synthétisés par des plasmocytes.
 - b) ***L'immunité à médiation cellulaire** — immunité passive ou active faisant intervenir directement des lymphocytes T.

3. Les cellules

A. Les lymphocytes sont les unités de bases du système immunitaire. Ils dérivent d'une cellule mère commune située dans la moelle rouge des os.

1. Les **lymphocytes T** sont des lymphocytes qui ne subissent leur maturation qu'après être passés par le thymus. Ils possèdent des récepteurs membranaires les rendant capables de reconnaître des antigènes qui leur sont présentés par des complexes majeurs d'histocompatibilité (CMH)*. Les lymphocytes T participent à l'immunité à médiation cellulaire. Il y a plusieurs types importants de lymphocytes T.
 - a) Les **lymphocytes T cytotoxiques** détruisent directement les cellules qui expriment des antigènes étrangers à leur surface cellulaire. Les lymphocytes T cytotoxiques jouent donc un rôle important dans l'élimination de cellules infectées par des virus, de cellules cancéreuses et de cellules ayant un agent pathogène intracellulaire. Les lymphocytes T cytotoxiques possèdent un marqueur de surface caractéristique, le CD8⁺.
 - b) Les **lymphocytes T auxiliaires** (helper) favorisent les activités d'autres cellules grâce aux **cytokines qu'ils synthétisent et sécrètent**. Ces cytokines sont des facteurs solubles, qui se lient aux récepteurs de surface d'une cellule cible et y induisent une modification physiologique. Les lymphocytes T auxiliaires ont un marqueur de surface, le CD4⁺.
 - c) Les **lymphocytes T suppresseurs** inhibent les activités de certaines cellules par l'intermédiaire de cytokines. Les lymphocytes T suppresseurs ont un marqueur de surface, le CD4⁺.
2. Les **lymphocytes B** sont impliqués dans l'immunité à médiation humorale. C'est un mécanisme de défense qui fait intervenir des **anticorps** (immunoglobulines). Les anticorps (figure 11-1) sont produits, en réponse à des antigènes étrangers, par des lymphocytes B adultes connus sous le nom de **plasmocytes**. Les anticorps sont élaborés par un processus de recombinaison génétique. Pour chaque antigène, il y a un anticorps spécifique.
 - a) La **structure des anticorps** diffère en fonction du nombre d'unités qu'ils contiennent. L'unité de base est illustrée dans la figure 11-1. L'immunoglobuline G (IgG) est un monomère : elle ne contient qu'une unité de base. L'immunoglobuline M (IgM) est un pentamère constitué de cinq unités de base liées.
 - b) Il y a **cinq classes d'anticorps**, chacune d'elles contenant un anticorps spécifique. Chaque classe d'anticorps a une fonction quelque peu différente. Les classes d'immunoglobulines (Ig) sont G et M déjà citées, auxquelles il convient d'ajouter A, D et E.
 - (1) Dans le flux sanguin, l'**IgG** est l'anticorps principal. Il est habituellement le second anticorps produit lors d'une réponse immunitaire initiale. Il traverse le placenta et, comme il n'est constitué que d'un monomère, il possède deux sites de liaison à un antigène.

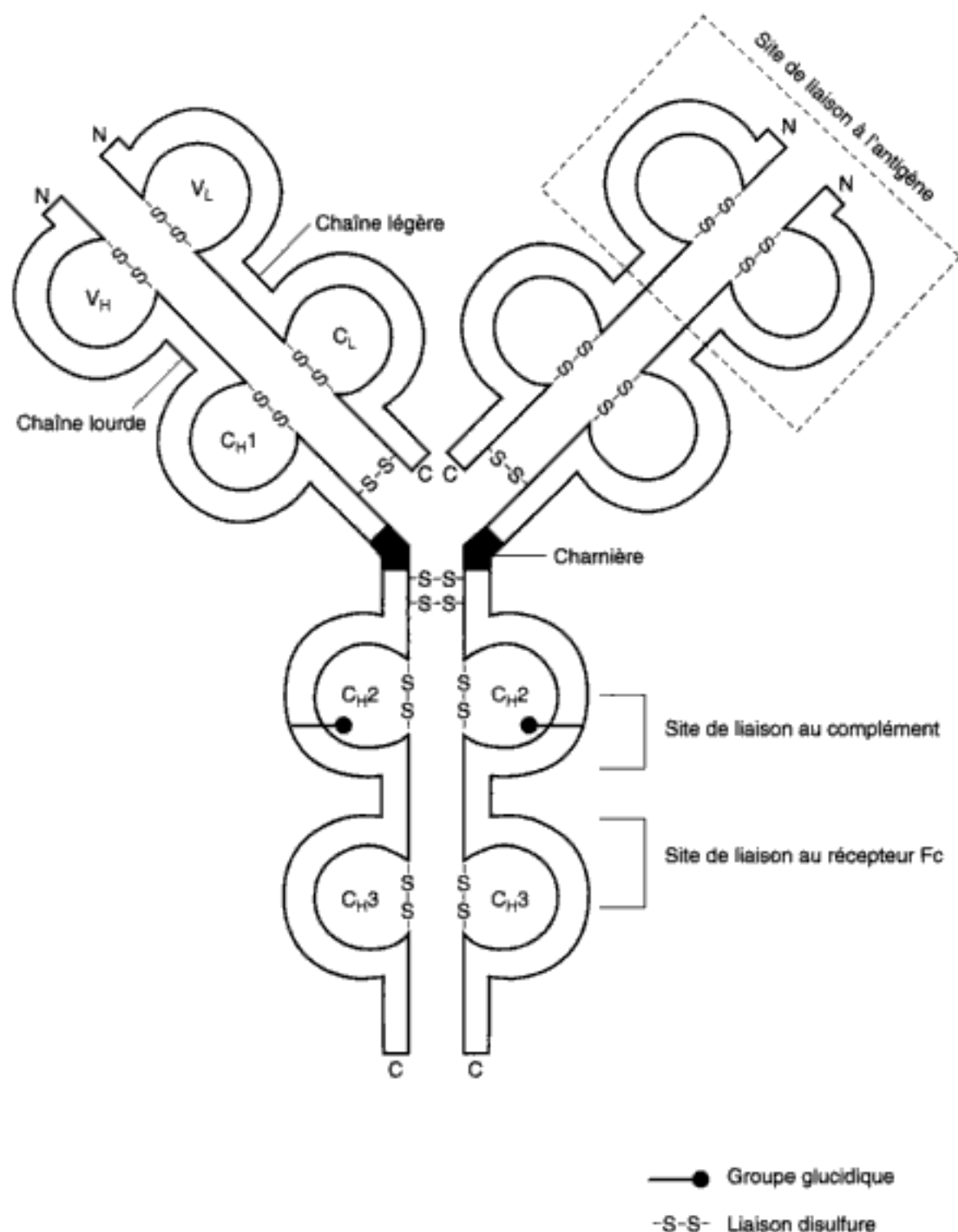


Figure 11.1 Structure de base d'un anticorps

La structure représentée ici est l'immunoglobuline G (IgG) qui ne comporte qu'un monomère.

C = région constante ; V = région variable

(2) **L'IgM** est l'anticorps qui apparaît en premier lors d'une réponse immunitaire. Comme indiqué précédemment, c'est un pentamère. Il possède donc au total dix sites de liaison aux antigènes et, de ce fait, il excelle dans l'agglutination des bactéries.

- (3) **L'IgA** est l'anticorps essentiel des sécrétions (e.g., salive, lait). C'est un dimère qui possède quatre sites de liaison aux antigènes.
- (4) **L'IgE** est impliqué dans les réactions allergiques et les infections parasitaires. Il stimule la libération d'histamine par les mastocytes et les granulocytes basophiles. Structuralement, c'est un monomère.
- (5) **L'IgD** aide les lymphocytes B à reconnaître l'antigène. C'est un monomère lié à la membrane.

B. *Les leucocytes agranulaires ne contiennent pas de granules dans leur cytoplasme : ce sont les **monocytes**. Lorsqu'ils sont activés, les monocytes se transforment en macrophages, capables de pratiquer la phagocytose. Les **macrophages** interviennent dans la présentation de l'antigène.

- 1. La **phagocytose**. Les macrophages ingèrent des bactéries, des débris cellulaires et les hématies mortes. Ils débarrassent les tissus des cellules mortes ou endommagées.
- 2. La **présentation de l'antigène**. Sur leur surface cellulaire, les macrophages possèdent des molécules appelées molécules du complexe majeur d'histocompatibilité. Ces molécules présentent des peptides antigéniques à leur surface si bien que les lymphocytes T et B peuvent reconnaître l'antigène et préparer la réponse appropriée.

C. Les leucocytes granulaires, ou granulocytes, possèdent un noyau multilobé et des granules cytoplasmiques*. Ils jouent un rôle dans les réponses immunitaires naturelles.

- 1. Les **granulocytes neutrophiles** sont des cellules pratiquant la phagocytose. Leur activité n'est pas spécifique car elle n'implique pas l'intervention de récepteurs. Ils sont très efficaces dans la **phagocytose** non spécifique **des bactéries**.
- 2. Les **granulocytes éosinophiles** (acidophiles)* possèdent des récepteurs d'IgE sur leur membrane plasmique. Ils participent à la **défense contre les parasites** et aux **réactions allergiques**.
- 3. Les **granulocytes basophiles** engendrent des **réactions d'hypersensibilité immédiates** en libérant de l'histamine lorsqu'ils sont stimulés par des IgE.

4. Les tissus

A. La moelle rouge des os

Les cellules sanguines naissent dans la moelle rouge des os. Certaines d'entre elles (e.g., les lymphocytes B) y achèvent leur maturation ; par contre, d'autres requièrent un passage par d'autres organes avant d'atteindre leur maturation (e.g., les lymphocytes T doivent passer par le thymus). Les cellules de la moelle rouge des os interviennent dans la

sélection des cellules immunitaires qui réagissent contre le soi et ensuite le détruisent.

B. La rate et les ganglions lymphatiques (figure 11-2)

La rate et les ganglions lymphatiques font partie du système lymphatique (voir chapitre 10).

- 1. Les ganglions lymphatiques.** Les leucocytes se rassemblent dans des sites spécialisés des ganglions lymphatiques. Au moment où la lymphe est filtrée, lors de son retour au flux sanguin, les antigènes étrangers sont reconnus par ces cellules immunitaires et une réponse immunitaire est engendrée. Ceci empêche les bactéries d'avoir accès au sang.
- 2. La rate.** La rate enlève les débris du sang circulant et le débarrasse des hématies défectueuses. Elle fournit aussi une réponse immunitaire aux antigènes étrangers.

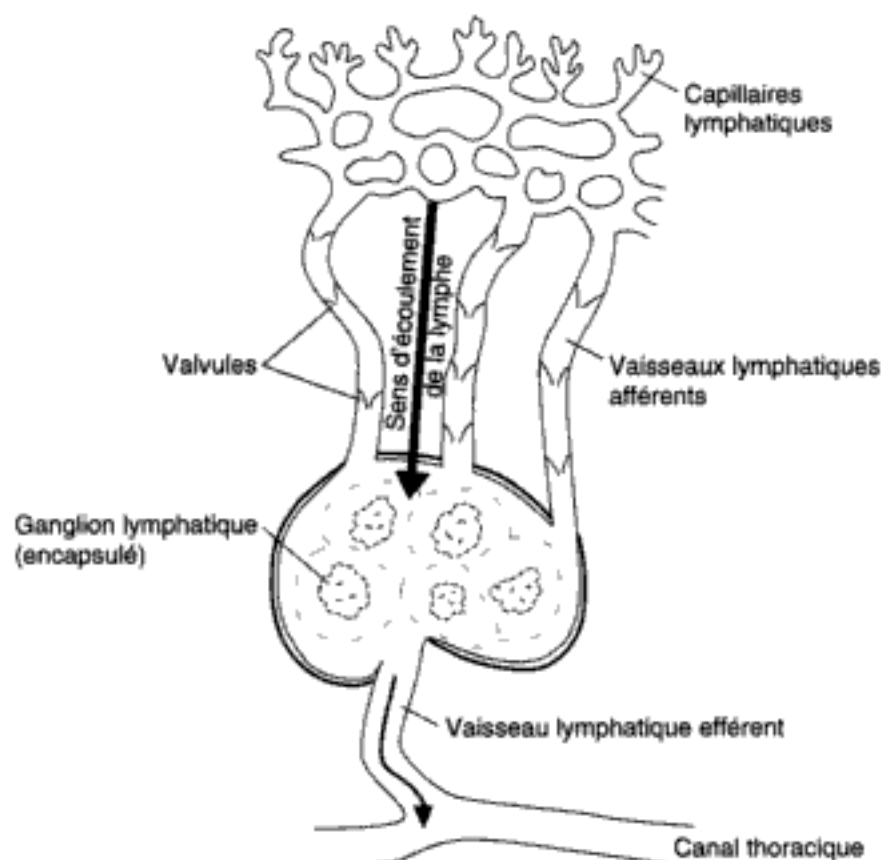


Figure 11.2 Structure d'un ganglion lymphatique

Noter que la lymphe revient finalement dans le flux sanguin par le canal thoracique.

12

Le système digestif

1. Nutrition

A. Pour répondre aux besoins d'énergie, les organismes doivent ingérer des matériaux provenant de l'environnement ; ces matériaux sont habituellement présents dans la nourriture sous forme de polymères de composés plus simples. Pour que le corps humain puisse utiliser efficacement les composants de l'alimentation, il doit d'abord dégrader ces polymères complexes en leurs constituants unitaires. Les substances plus volumineuses sont moins facilement absorbées par les cellules épithéliales intestinales. De plus, les petites sous-unités sont plus facilement utilisées par l'organisme pour satisfaire ses propres besoins de synthèse. L'unité de mesure de l'énergie alimentaire est la kilocalorie [(kcal), souvent remplacée maintenant par le kilojoule (kj) ; 1kcal = 4,185 kj]*.

B. Aliments

1. Les **glucides** apportent 4 kcal d'énergie par gramme : ce sont généralement eux qui constituent la plus grande source d'énergie dans l'alimentation.

a) *Les monosaccharides sont des glucides à cinq ou six carbones. Ce sont les unités fonctionnelles les plus petites : elles ne peuvent pas être plus réduites. Les polysaccharides sont de longues chaînes de monosaccharides : ils peuvent être fractionnés.

(1) Parmi les **monosaccharides** (oses)*, citons le glucose et le fructose.

(2) Les **polysaccharides** (polyholosides ou polyosides)* comprennent l'amidon et le glycogène.

b) La **digestion des polysaccharides** débute dans la bouche, avec l'**amylase salivaire**, et se poursuit dans l'intestin grêle lors de leur exposition à l'**amylase pancréatique**. Les cellules épithéliales intestinales (entérocytes)* absorbent les mono- et les disaccharides ; ces

derniers sont ensuite hydrolysés en leurs sous-unités monosaccharidiques.

2. Les **graisses** sont des lipides composés d'une molécule à trois carbones, le **glycérol**, unie par des liaisons phosphate à **trois acides gras** constitués de longues chaînes de polymère de carbone : ce sont des **triglycérides***. Lorsque ces liaisons carbone sont hydrolysées, elles libèrent 9 kcal par gramme.
 - a) Les **acides gras saturés** ne contiennent pas de doubles liaisons, alors que les **molécules insaturées** ont des doubles liaisons soit *cis*, soit *trans*.
 - b) La **digestion des graisses** se produit lorsque la **cholécystokinine (CCK)**, hormone synthétisée par des cellules endocrines appartenant à l'épithélium duodénal, provoque la libération de la **bile** stockée dans la vésicule biliaire et de la **lipase** pancréatique. *La première de ces substances facilite l'émulsion des graisses, la seconde commence leur digestion et aboutit à la formation de **micelles**. Ces micelles sont absorbées par les entérocytes du duodénum et du jéjunum.
3. Les **protéines** sont composées de chaînes d'unités fonctionnelles, les acides aminés, unies par des liaisons peptidiques*. Lors de la protéolyse, l'hydrolyse de ces liaisons libère 4 kcal d'énergie par gramme.
 - a) Les **acides aminés essentiels** (nutritionnellement indispensables)* doivent être apportés par l'alimentation, alors que d'autres acides aminés peuvent être synthétisés par l'organisme.
 - b) La **digestion des protéines** commence dans l'estomac sous l'action de la **pepsine**. L'arrivée de protéines dans le duodénum stimule la sécrétion de CCK. Cette hormone induit la libération d'**enzymes protéolytiques pancréatiques** (i.e., trypsine, chymotrypsine, élastase, de nombreux types d'endo- et d'exopeptidases). Ces enzymes terminent la digestion des protéines.
4. Les **vitamines** et les **sels minéraux** sont apportés à l'organisme par l'alimentation.
 - a) Les **vitamines** sont des molécules organiques qui aident l'action catalytique des enzymes en agissant en tant que **coenzymes** [la niacine est le coenzyme du nicotinamide adénine dinucléotide (NAD)]. Elles sont soit ingérées, soit produites par des bactéries à l'intérieur du tractus gastro-intestinal (e.g., vitamine K, vitamine B₁₂).
 - b) Les **sels minéraux** se présentent sous la forme d'ions inorganiques qui, outre leurs rôles dans des fonctions tels que le pliage des protéines et l'établissement de gradients électrochimiques, peuvent également aider la catalyse en agissant comme **groupements prosthétiques** (e.g., le fer dans l'hème de l'hémoglobine).

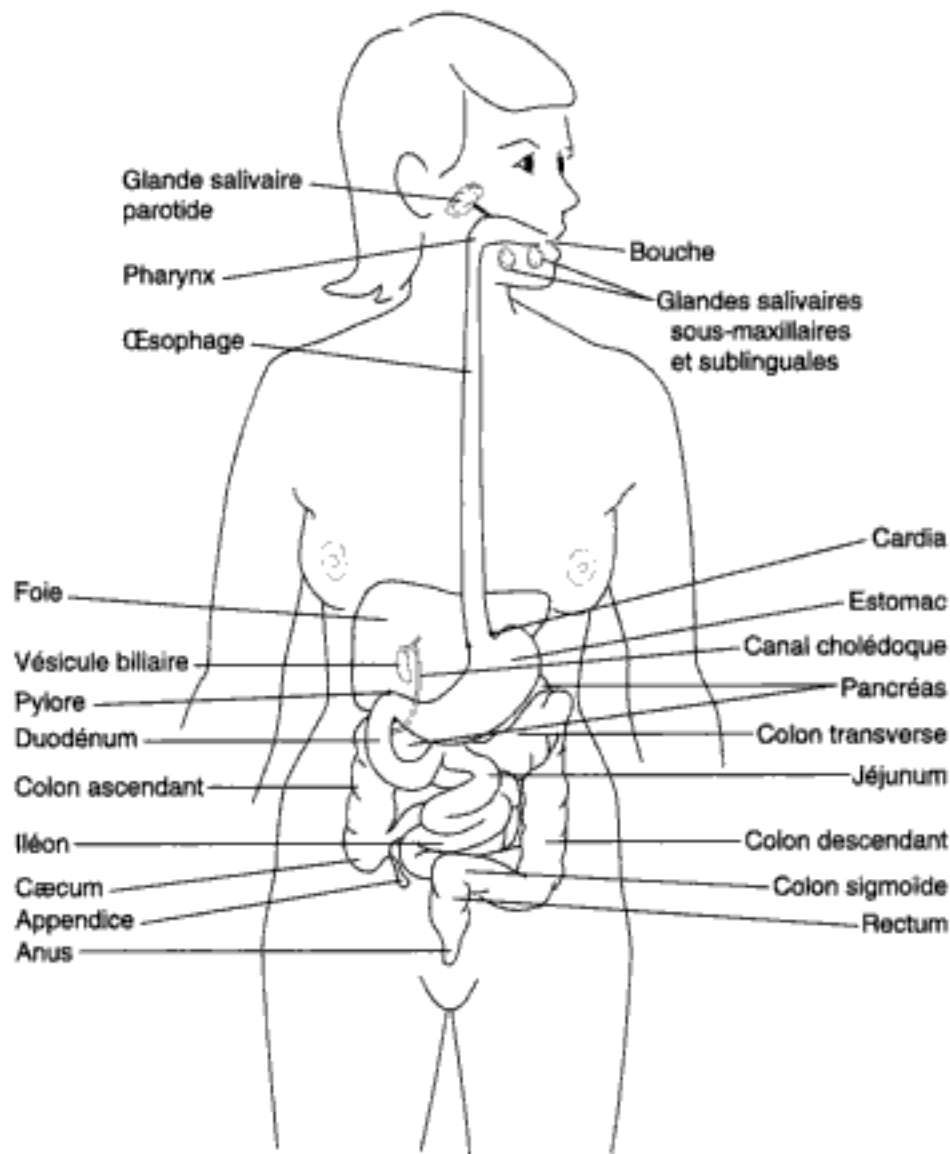


Figure 12.1 Le transit alimentaire dans le système digestif

Seules, les principales structures sont schématisées.

2. Le tube digestif

A. Le transit de la nourriture

1. **Contrôle musculaire.** Les aliments pénètrent dans l'organisme par la bouche et leurs résidus sont expulsés par l'anous (figure 12-1).
 - a) Le **péristaltisme**, qui est un mouvement rythmique, coordonné, en forme d'onde, dû à des contractions musculaires involontaires, propulse le matériel ingéré, de façon unidirectionnelle, tout au long du tube digestif.
 - b) La **distension d'un organe creux** provoque la contraction des muscles circulaires situés immédiatement en amont de la zone élar-

gie. En même temps, les muscles circulaires situés en aval de cette zone se relâchent et les muscles longitudinaux, situés entre les deux, se contractent, poussant le bol alimentaire vers l'aval.

2. Les **sphincters**. Les sphincters sont des anneaux musculaires spécialisés, entourant un orifice. Le tube digestif est divisé en compartiments par plusieurs sphincters. En se contractant, ou en se relâchant, les sphincters contrôlent le transit du bol alimentaire d'une région à une autre.

- a) Les **sphincters œsophagiens** (et notamment le cardia)* empêchent les contenus gastriques acides de remonter dans l'œsophage.
- b) Le **sphincter pylorique** gouverne la vitesse à laquelle le bol alimentaire quitte l'estomac pour l'intestin grêle.
- c) En cas de **dysfonctionnement mécanique**, c'est-à-dire lorsque les sphincters œsophagien ou pylorique fonctionnent anormalement, l'acide gastrique peut s'échapper dans l'œsophage (brûlures d'estomac) ou dans le duodénum (formation d'ulcères)

3. **Sécrétions**. Les enzymes facilitent la digestion des aliments. Pour rencontrer les aliments, les enzymes empruntent des canaux qui se vident dans la lumière du tractus digestif.

- a) Les **enzymes digestives sont des protéines**.

- (1) De nombreuses enzymes digestives sont libérées sous forme de **précurseurs inactifs** appelés **zymogènes** ou **préproenzymes** (figure 12-2). Ces précurseurs ne sont activés qu'après avoir atteint la lumière de l'appareil digestif.
- (2) La **sécrétion d'une forme inactive** est, de cette façon, un moyen de **protection contre une autodigestion**.
- (3) Par exemple, la **trypsine** n'est activée que dans la lumière intestinale par l'acide d'origine gastrique ou par une autoprotéolyse réalisée par une autre molécule de trypsine. La trypsine activée active ensuite d'autres enzymes digestives.

- b) Les **stimuli des enzymes gastro-intestinales**

B. La bouche et le pharynx

Les aliments sont introduits dans la bouche où ils induisent diverses sensations (e.g., saveur, texture, odeur, température). La digestion débute dans la bouche et le pharynx de deux façons.

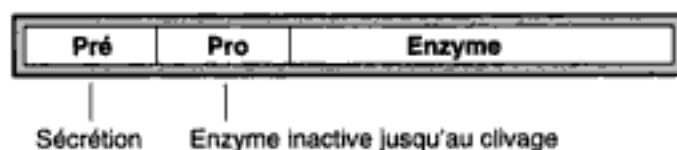


Figure 12.2 La structure des zymogènes

1. La **mastication** est un traitement mécanique qui utilise les dents pour réduire les aliments en fragments plus petits.
2. La dégradation enzymatique se produit grâce à la sécrétion de **salive** par trois paires de glandes salivaires (i.e., parotides, sous-maxillaires, sublinguales). La salive agit pour :
 - a) entamer la digestion des glucides
 - b) lubrifier les aliments afin de leur assurer un transit œsophagien plus aisé
 - c) jouer un rôle antibactérien grâce à l'action de **lysozymes**

C. L'œsophage

L'œsophage **conduit les aliments** de la cavité buccale à l'estomac. Dans le tiers supérieur de l'œsophage, la couche musculaire* est faite de muscle squelettique, indispensable à l'action volontaire qu'est la déglutition. Dans le tiers moyen, elle contient à la fois des muscles squelettique et lisse, et dans le tiers inférieur, uniquement du muscle lisse. Le muscle lisse, qui assure les mouvements involontaires, est sous le contrôle du SNV (voir chapitre 8). La musculature* de tout le reste du tractus gastro-intestinal est constituée de muscle lisse.

D. L'estomac

L'estomac stocke, brasse et digère les aliments. La digestion est réalisée par la **libération d'enzymes et d'acide chlorhydrique***.

1. Dans le processus digestif, la **gastrine** est une hormone qui est libérée très tôt.
 - a) La libération de la gastrine, à partir des cellules G de l'épithélium gastrique*, est induite par :
 - (1) la distension de l'estomac
 - (2) la stimulation du parasympathique
 - (3) la présence de protéines dans la lumière de l'estomac
 - b) La gastrine stimule :
 - (1) la distension et la motilité de l'estomac (contraction des muscles lisses et péristaltisme accrus)
 - (2) la libération de **pepsinogène**, qui est converti en **pepsine** active par l'acide chlorhydrique (HCl) et par des protéines de pepsine venant des cellules principales.
 - (3) la sécrétion d'HCl par les cellules pariétales (bordantes)*
2. Pour empêcher que l'acide chlorhydrique ($\text{pH} = 2$)* endommage l'épithélium de l'estomac, la muqueuse gastrique sécrète des **bicarbonates** (HCO_3^-) et du **mucus** qui, respectivement, neutralisent l'acide en surface et protège la muqueuse.
3. Le **facteur intrinsèque** est une protéine qui se lie à la vitamine B_{12} et la protège de la dégradation que pourrait lui faire subir l'acide, jusqu'à

ce qu'elle soit absorbée dans l'intestin grêle. Le facteur intrinsèque est sécrété par les cellules pariétales.

E. L'intestin grêle

La digestion s'achève dans l'intestin grêle et la majeure partie des nutriments est absorbée dans le jéjunum et l'iléon.

1. Pour faciliter l'absorption, la muqueuse intestinale présente de nombreuses projections (i.e., des **villosités**) et la membrane apicale des entérocytes possède d'innombrables projections microscopiques (i.e., des **microvillosités**). Ces deux caractéristiques structurales augmentent considérablement la surface interne de l'intestin grêle, favorisant à la fois l'absorption des nutriments et la sécrétion du mucus et des enzymes.
2. Le **duodénum** est la première partie de l'intestin grêle. Chez les humains, il constitue les 30 premiers centimètres environ de l'intestin grêle.
 - a) La **sécrétine** est une hormone dont la libération, par des cellules endocrines de l'épithélium duodénal, est stimulée par l'arrivée, dans le duodénum, du chyme acide gastrique. La sécrétine a les effets suivants :
 - (1) elle incite le pancréas exocrine à synthétiser et à sécréter des HCO_3^- .
 - (2) elle ralentit la motilité et la vidange gastriques
 - (3) elle inhibe la libération de gastrine.
 - b) La **CCK** est libérée en réponse à la présence d'acides gras et de protéines.
 - (1) La CCK stimule la sécrétion des enzymes pancréatiques :
 - (a) La **trypsine** est libérée pour la digestion des protéines et l'activation des proenzymes.
 - (b) La **lipase** est libérée pour la digestion des graisses.
 - (c) L'**amylase** est libérée pour la digestion des glucides.
 - (2) La **CCK stimule la contraction de la vésicule biliaire et donc la libération de la bile**. La bile est sécrétée par le foie, stockée dans la vésicule biliaire et libérée dans le duodénum par le canal cholédoque*. La bile contient des sels biliaires, du cholestérol et de la bilirubine (pigment biliaire* provenant de la dégradation de l'hémoglobine). Les sels biliaires agissent à la manière d'un détergent lors de l'émulsion des graisses.
3. Le **jéjunum** représente les deux tiers supérieurs de l'intestin grêle. Il libère des enzymes (e.g., maltase, carboxypeptidase) et absorbe la majeure partie des nutriments issus de la digestion.

4. **L'iléon** correspond au tiers inférieur de l'intestin grêle. Il termine l'absorption des nutriments et réabsorbe, pour recyclage, les acides biliaires.

F. Le colon (gros intestin)*

Le **colon** est subdivisé en **cæcum**, **colons ascendant**, **transverse**, **descendant** et **colon sigmoïde**. Le colon assure plusieurs fonctions.

1. Le colon **réabsorbe l'eau et les électrolytes** et, ainsi, il joue un rôle dans l'osmorégulation.
2. Le colon **forme et stocke les selles** en vue de leur élimination (défécation)*.

12

3. Les organes annexes (figure 12-3)

A. Le foie

Le foie est, sur le plan métabolique, l'organe le plus important. Ses fonctions sont répertoriées dans le tableau 12-1.

B. Le pancréas

Le pancréas assure à la fois des fonctions endocrine (voir chapitre 9) et exocrine : c'est une glande amphicrine*. Le pancréas exocrine est impliqué dans la digestion par sa **production de suc pancréatique**. Le suc pancréatique neutralise le chyme gastrique acide grâce aux ions bicarbo-

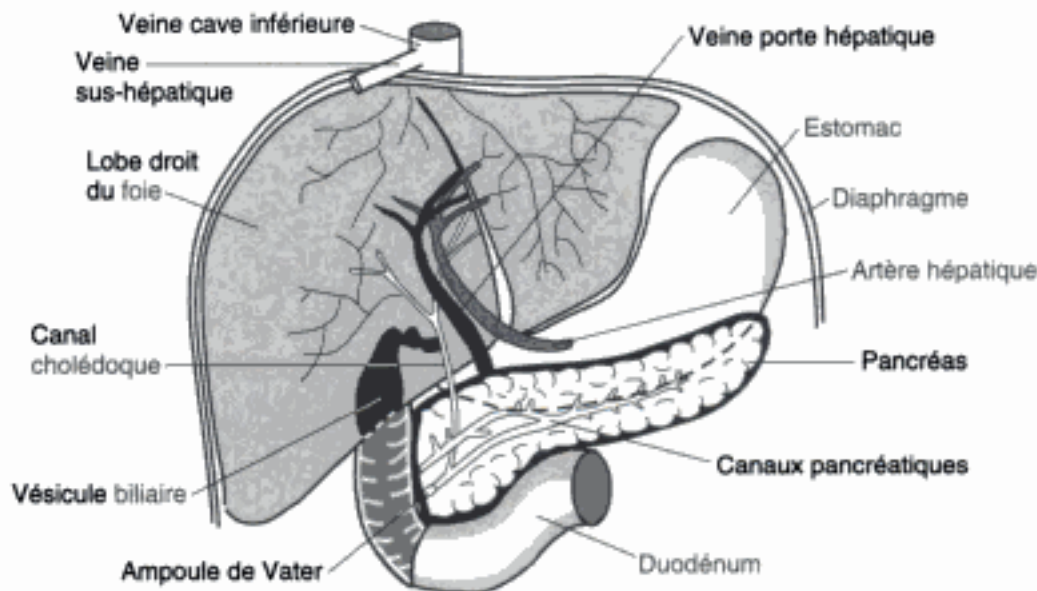


Figure 12.3 Les interrelations du tractus gastro-intestinal et de ses glandes annexes : le foie et le pancréas*

(Reproduite avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*. Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 703).

Tableau 12.1 Les fonctions du foie

Régulation de la glycémie par stockage du glucose sous forme de glycogène
Stockage des vitamines essentielles
Interconversion des nutriments
Détoxication des drogues, dont l'alcool
Immunité protectrice grâce aux cellules de Küpffer (macrophages hépatiques)
Destruction des hématies (tout comme la rate)
Production et sécrétion de la bile
Production d'urée à partir de l'ammoniaque (toxique), un sous-produit du métabolisme des protéines
Synthèse des protéines plasmatiques (e.g., albumine, protéines de la coagulation)
Hématopoïèse au cours de la vie fœtale
Libération de HCO_3^-
Synthèse des lipoprotéines servant au transport du cholestérol

nates et fournit les enzymes indispensables à la digestion des glucides, des lipides et des protéines.

13

Le système excréteur

1. Le rôle du système excréteur dans l'homéostasie de l'organisme

La capacité à survivre dans des environnements osmotiquement instables a été acquise grâce à l'évolution de systèmes excréteurs efficaces. Les organismes aquatiques les plus simples et les plus petits excrètent les déchets de leur métabolisme dans l'eau environnante par diffusion. Les animaux supérieurs, dotés d'un système circulatoire, font intervenir des reins par lesquels le sang passe pour y être filtré. Les **fonctions des reins comprennent** :

1. l'équilibre hydrique et électrolytique
2. le contrôle de la pression sanguine
3. l'équilibre acido-basique
4. la stimulation de l'hématopoïèse au niveau de la moelle rouge des os

2. Structure et fonction du rein des mammifères

A. Caractéristiques anatomiques (figure 13-1)

1. **Localisation.** Les reins sont des organes pairs localisés à l'arrière des organes abdominaux, de chaque côté du corps. Ils se situent en arrière du péritoine, contre les côtes au milieu de la partie inférieure du dos.
2. **Taille.** Le rein humain a approximativement la taille d'un poing et représente moins de 1% du poids corporel total.
3. **Flux sanguin et filtration.** Les reins ont un important débit sanguin — environ 20% du débit cardiaque. Les reins filtrent le plasma à raison de 125 ml/min, ce qui correspond à environ 170 litres/jour.
4. **Enveloppe.** Les reins sont enveloppés par une fine couche de tissu conjonctif, la **capsule rénale**.

5. Deux régions fonctionnelles produisent l'urine :
 - a) Le **cortex** est la couche fonctionnelle externe.
 - b) La **médulla** est la couche fonctionnelle interne.
6. ***Structures associées.** Les **pyramides** s'étendent, à partir du cortex, sur toute la médulla. L'urine est canalisée par les pyramides jusqu'aux **papilles**, au niveau desquelles elle se déverse dans les **calices**. Ceux-ci confluent en une chambre collectrice interne des reins, le **bassin**. Du bassin partent de longs tubes, les **uretères**, qui conduisent l'urine jusqu'à la **vessie urinaire**. Lors de la miction, l'urine quitte la vessie par l'**urètre**.

B. Anatomie microscopique et fonction

1. Le **néphron** est l'unité fonctionnelle du rein. Le rein humain contient plus d'un million de néphrons. Le rôle principal du néphron est d'assurer la filtration du plasma sanguin, en permettant la réabsorption et la sécrétion des électrolytes clés et des nutriments. Le résultat final de cette activité est la production d'une urine concentrée.
2. Pour comprendre la fonction du rein, il est indispensable de bien connaître l'**anatomie de sa microcirculation sanguine** (figure 13-2).

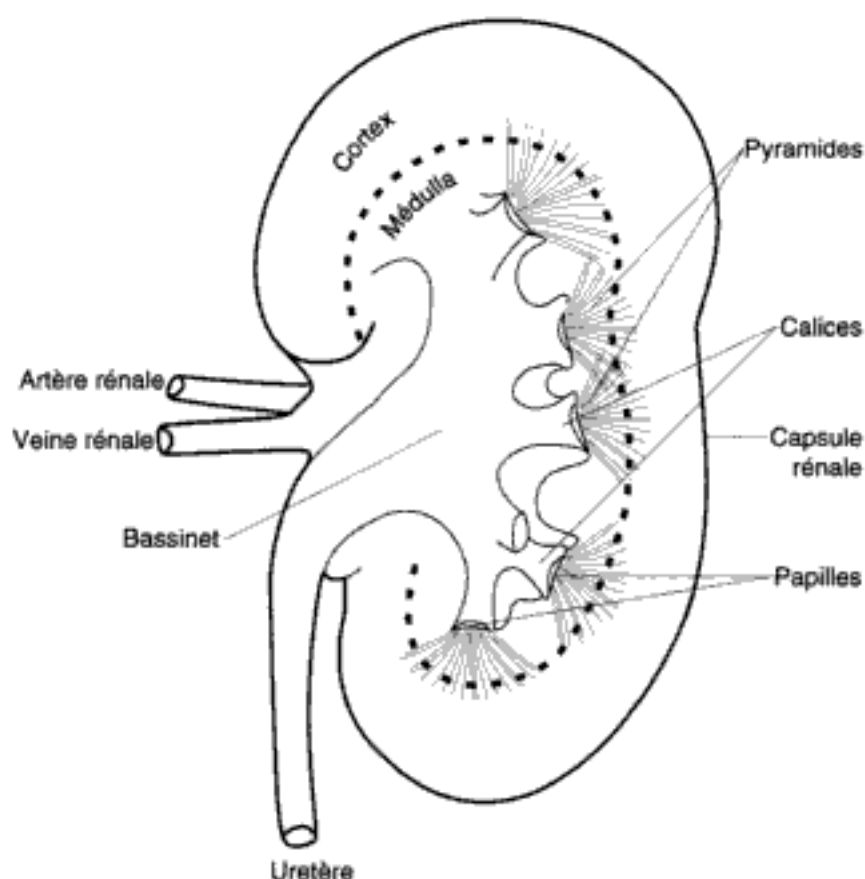


Figure 13.1 Morphologie du rein humain

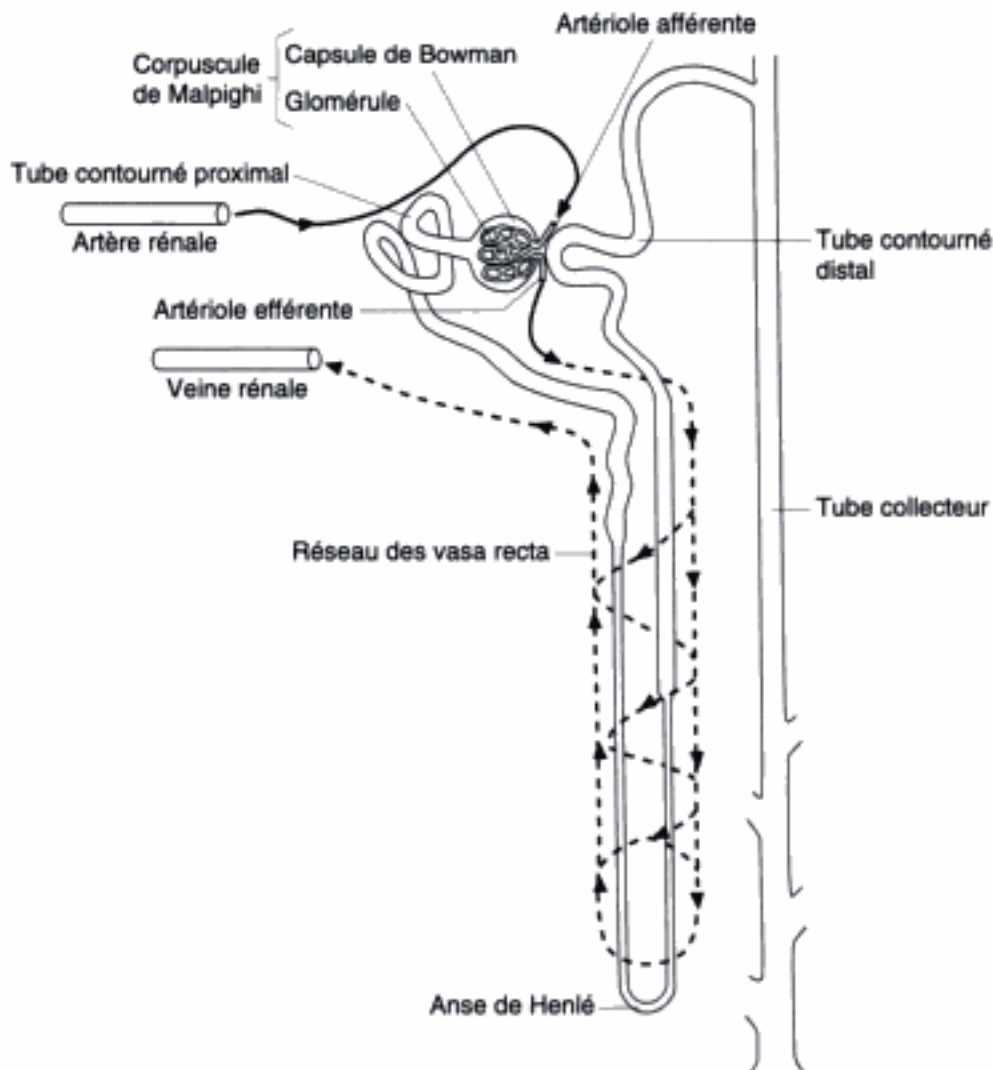


Figure 13.2 L'anatomie microscopique du néphron*

Noter que les flèches indiquent le sens du flux sanguin.

- Arrivée du sang aux reins.** Le sang, venant de l'**artère aorte**, pénètre dans le rein par l'**artère rénale**. L'artère rénale se ramifie de nombreuses fois et donne naissance à environ un million de ramifications terminales, les **artérioles afférentes**. Celles-ci se résolvent en un réseau complexe de capillaires appelé **glomérule**.
- Départ du sang des reins.** Le **réseau des capillaires glomérulaires** a la forme d'une pelote de fil. Ces capillaires sont fenêtrés*, si bien qu'ils permettent aux électrolytes et aux petites molécules (i.e., les molécules ayant une masse moléculaire inférieure à 200 daltons) de quitter le sang par filtration. Le sang qui n'a pas été filtré quitte le glomérule par l'**artériole efférente** et gagne les **vasa recta** (vaisseaux droits qui longent l'anse de Henlé)* qui réabsorbent l'eau et les solutés présents dans l'espace interstitiel. Ensuite, le sang regagne la **veine cave inférieure** via la **veine rénale**.

3. **L'anatomie des tubules** est aussi importante pour la fonction du néphron.

- a) Le néphron débute par la **capsule de Bowman**, structure faite d'une seule couche de cellules, qui s'invagine pour former une sorte de calice enveloppant étroitement le glomérule*. L'ensemble formé par le glomérule, entouré de la capsule de Bowman, est appelé **corpuscule de Malpighi***. Le filtrat sanguin, qui a traversé le glomérule, s'accumule dans la lumière de la capsule de Bowman, appelée **espace de Bowman** (ou espace urinaire)*.
- b) De la capsule, le filtrat gagne le **tube contourné proximal (TCP)**
- c) À partir de ce TCP, le filtrat s'écoule dans un tubule en épingle à cheveu, appelé **anse de Henlé**.
- d) *Dans cette anse, le filtrat se déplace d'abord dans une **branche descendante** à paroi **mince**, puis dans une **branche ascendante**, à paroi d'abord mince puis épaisse dans sa deuxième moitié, avant d'atteindre le **tube contourné distal (TCD)**.
- e) Le TCD se vide directement dans un **tube collecteur** qui déverse l'urine dans le **bassinnet**.
- f) *D'un **point de vue fonctionnel**, on admet que le néphron est constitué non seulement de la capsule de Bowman, du TCP, de l'anse de Henlé et du TCD, mais aussi du tube collecteur.

C. Formation de l'urine (figure 13-3)

1. La formation de l'urine commence par l'**ultrafiltration** du plasma sanguin et l'accumulation de l'ultrafiltrat dans l'espace urinaire.
 - a) **Filtration extensive**. Jusqu'à **25% de l'eau et des solutés**, qui s'écoulent dans le glomérule, sont filtrés dans l'espace de Bowman.
 - b) **Différence de pression**. La force qui commande la filtration est la différence entre la pression hydrostatique du sang (pression sanguine) et la pression osmotique régnant dans le glomérule. Cette différence est proche de **45 mm Hg**.
 - c) **Limitation de masse moléculaire**. Étant donné la taille des fenêtres* des capillaires glomérulaires, seules les particules de masse moléculaire inférieure à quelques centaines de daltons peuvent être filtrées. Le glucose, les électrolytes, les acides aminés et l'urée sont filtrés, alors que les éléments figurés du sang, l'albumine et les autres protéines plasmatiques* volumineuses ne le sont pas.
2. Alors que 170 litres de plasma sont filtrés quotidiennement, le **volume urinaire final** n'est que d'environ 1,5 litre. Ainsi, plus de 99% de l'eau et une forte proportion d'électrolytes ont-ils été réabsorbés.
3. Certaines substances apparaissent dans l'urine en concentration plus élevée que dans le sang. Ces substances sont **sécrétées sélectivement** dans l'urine à partir des tubules rénaux.

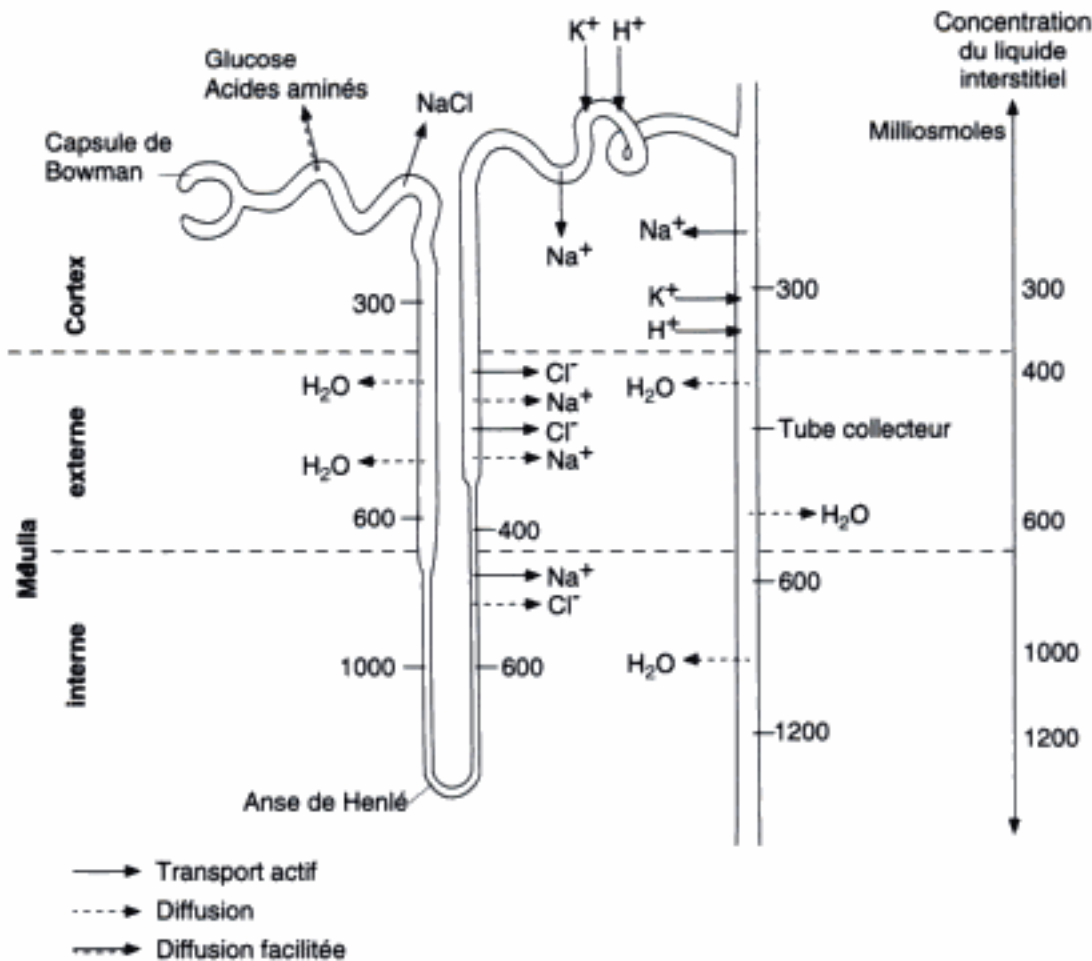


Figure 13.3 La formation de l'urine

4. À partir du TCP, le filtrat se déplace dans la **branche descendante de l'anse de Henlé**.
 - a) La branche descendante est très peu perméable aux ions sodium et chlorure et ne pratique pas de transport actif.
 - b) Ce tubule est très perméable à l'eau.
 - c) Il existe un fort gradient de concentration NaCl dans l'espace interstitiel de cette région, gradient de concentration qui, d'ailleurs, augmente au fur et à mesure qu'on s'enfonce dans la médulla*.
5. La **partie mince de la branche ascendante** est perméable aux ions sodium et chlorure, et certains chercheurs estiment qu'un transport actif du sodium peut s'y produire.
6. La **partie épaisse de la branche ascendante** est presque imperméable à l'eau et transporte activement les ions chlorure de la lumière tubulaire vers l'espace interstitiel, les ions sodium suivant passivement.
7. Le **TCD** présente un transport actif important.

- a) Il **transporte activement les ions sodium**, les **ions chlorure** **suivant passivement**.
- b) D'autres protéines de transport actif permettent le transport de divers autres ions.
 - (1) Il y a un **cotransport d'ions potassium-hydrogène**. Les ions potassium sont excrétés dans la lumière par les cellules tubulaires en compagnie des ions hydrogène. Ce cotransport constitue un mécanisme permettant à l'organisme d'excréter des ions potassium et de contrôler son équilibre acido-basique par les ions hydrogène.
 - (2) **L'aldostérone**, hormone corticostéroïde, contrôle le transport des ions sodium et celui du couple ionique potassium-hydrogène dans le tubule distal et dans la partie initiale* du tube collecteur.
- 8. Le **tube collecteur** enlève de l'eau au liquide hypotonique qui provient du TCD et, de cette manière, produit une urine hypertonique.
 - a) **L'hormone antidiurétique (ADH)** intervient pour rendre le tube collecteur perméable à l'eau.
 - b) En **l'absence d'ADH**, le tube est imperméable à l'eau, et la majeure partie de l'eau contenue dans l'urine est perdue.
- 9. **L'urine qui quitte le tube collecteur est concentrée** et présente la composition suivante : de grandes quantités de déchets azotés (e.g., urée), moins de 1% de l'eau et des sels filtrés et des substances sécrétées (e.g., drogues, toxines).

D. Mécanisme de concentration de l'urine

Bien que microscopiquement mince, le néphron est très long et s'étend du cortex rénal à sa médulla. Comme la branche descendante de l'anse de Henlé est perméable à l'eau mais ne laisse pas sortir les sels, l'osmolarité de l'urine augmente au fur et à mesure que l'urine descend dans la branche (gradient de concentration interstitiel croissant)*et atteint son maximum à la boucle de l'anse. La boucle de l'anse de Henlé est imperméable à l'eau et les sels restent dans la lumière tubulaire.

- 1. Comme dans la branche ascendante, imperméable à l'eau, les sels quittent le tubule, soit activement soit passivement, l'osmolarité de l'urine diminue. Finalement, lorsque l'urine descend le tube collecteur, elle est **reconcentrée**, parce que des quantités énormes d'eau ont quitté l'urine (sous l'influence de l'ADH), concentrant les solutés restant.
- 2. L'organisation de la circulation du néphron est telle qu'un **système à contre-courant** facilite le maintien du gradient de concentration de l'espace interstitiel.
 - a) Le sens de l'écoulement de l'urine dans les tubules est l'inverse de celui du flux sanguin dans les vasa recta (voir figure 13-2).

- b) Le flux sanguin des vasa recta débute au niveau de la branche ascendante épaisse et s'écoule le long de l'anse de Henlé jusqu'à la branche descendante mince.
 - c) Par réabsorption sélective des sels et de l'eau, ce système de contre-courant aide à maintenir le gradient de concentration du liquide interstitiel.
3. Les **vasa recta** forment des réseaux en forme de boucle autour de l'anse de Henlé de chaque néphron.
- a) Les **vaisseaux sanguins descendent du cortex** dans les régions plus profondes de la médulla en formant les réseaux des vasa recta.
 - b) Les **vasa recta remontent ensuite vers le cortex**. En se déplaçant du cortex à la médulla, le sang des vasa recta prélève du sel et cède de l'eau par osmose pour équilibrer la charge osmotique croissante du liquide interstitiel.
 - c) **Lorsque le sang revient** de la médulla **vers le cortex**, par le réseau des vasa recta, il abandonne du sel et récupère de l'eau au fur et à mesure qu'il rencontre un liquide interstitiel d'osmolarité progressivement plus faible.
 - d) Le rôle de ce système est de **maintenir le gradient de concentration du liquide interstitiel**. Les vasa recta prélèvent des sels et cèdent de l'eau dans la médulla salée ; elles abandonnent des sels et reprennent de l'eau dans le cortex dilué.

E. Influences hormonales sur le néphron

1. **L'aldostérone**, hormone stéroïde produite par les corticosurrénales, agit sur le TCD du néphron.
 - a) L'aldostérone augmente le transport actif intervenant dans la sécrétion des **ions potassium** vers l'urine et dans la réabsorption des **ions sodium**, de l'urine vers les cellules.
 - b) L'aldostérone joue un rôle majeur dans la **régulation de la pression sanguine** en contrôlant le taux du sodium sanguin (natrémie)*. La rétention du sodium dans l'organisme augmente la pression sanguine en retenant l'eau corporelle.
2. **L'ADH permet la réabsorption de l'eau** au niveau du tube collecteur du néphron.
 - a) *L'ADH provoque l'intégration des **aquaporines**, présentes dans les cellules épithéliales du tube collecteur, dans leur membrane apicale, ce qui les perméabilise et entraîne une réabsorption massive d'eau (compte tenu du fort gradient de concentration du liquide interstitiel). L'ADH, également appelée **vasopressine (AVP = arginine vasopressine)**, augmente la pression sanguine par vasoconstriction*.
 - b) La sécrétion de l'ADH est contrôlée par un **système de régulation par rétroaction**. Une pression sanguine faible, liée à un plasma

Hidden page

lui enlève deux acides aminés et donne un octopeptide, l'**angiotensine II**. L'angiotensine II a deux rôles importants.

- (1) L'angiotensine II est un **puissant vasoconstricteur** qui augmente la pression sanguine.
- (2) Elle **stimule** également la **sécrétion de l'aldostérone**, laquelle retient le sodium et, de ce fait, augmente la pression sanguine.

F. *Fonctions endocrines des reins

1. **L'érythropoïétine (EPO)**. Lorsque l'organisme se trouve dans un environnement pauvre en oxygène (e.g., altitude), la quantité d'oxygène apportée aux tissus diminue. Cette baisse de la pression partielle en oxygène dans le sang est détectée par des cellules rénales qui, en réponse, libèrent une hormone peptidique, l'**érythropoïétine**. Cette hormone agit au niveau de la moelle rouge des os pour accroître la production d'hématies et, ainsi, permettre une augmentation de la quantité d'oxygène transportée.
2. **Le calcitriol**. Sous l'influence des U.V. de la lumière solaire, la vitamine D, apportée par l'alimentation et stockée dans la peau, est transformée en cholécalciférol. Cette molécule, véhiculée par le sang, subit une première hydroxylation lors de son passage dans le foie, puis acquiert sa maturation dans les reins grâce à une seconde hydroxylation qui en fait du 1, 25-dihydroxycholécalciférol ou calcitriol. Cette hormone augmente la calcémie en
 - a) stimulant l'absorption intestinale du calcium par les entérocytes,
 - b) augmentant la réabsorption du calcium au niveau rénal,
 - c) favorisant la résorption osseuse par la parathormone.

Hidden page

14

Les muscles et le système squelettique

1. Le système musculaire

A. Fonctions

1. **Mouvement contrôlé et posture.** Comme les neurones, les cellules musculaires, ou les myofibrilles, peuvent propager des potentiels d'action. Cependant, contrairement aux neurones, elles peuvent aussi se contracter et développer une force. Grâce à cette caractéristique, l'organisme peut contrôler le mouvement des différentes parties du corps et la posture.
2. **Paires de muscles.** Les muscles se contractent plus souvent en groupes que de façon isolée. Étant donné que la force développée par une contraction musculaire engendre une traction, et non une poussée, les muscles sont généralement disposés par paires antagonistes.
 - a) Les **fléchisseurs** plient les parties du corps au niveau des articulations, alors que les **extenseurs** les redressent.
 - b) Les **abducteurs** éloignent les membres de l'axe central du corps alors que les **adducteurs** les en rapprochent.
 - c) Les **élevateurs** élèvent les parties du corps et les **abaisseurs** les abaissent.
 - d) Les **pronateurs** tournent la paume de la main vers le bas et vers l'arrière, et les **supinateurs** la tournent vers le haut et vers l'avant.
 - e) Les **sphincters** ferment les orifices* des organes creux du corps et les **dilatateurs** les élargissent.

B. *Types de muscles

Il y a trois types de muscles : les muscles **squelettique**, **cardiaque** et **lisse** (tableau 14-1).

C. *Organisation structurale du muscle squelettique (figure 14-1)

1. Dans le muscle squelettique, les « cellules » musculaires, plurinucléées, sont appelées **fibres musculaires**, ou **myofibres**. Le cytoplasme (sarcoplasme) des myofibres contient des filaments contractiles. Les myofibres sont disposées parallèlement les unes par rapport aux autres (voir figure 14-1). Pour une description détaillée de la structure de la myofibre et du mécanisme de la contraction musculaire, se reporter au chapitre 7.

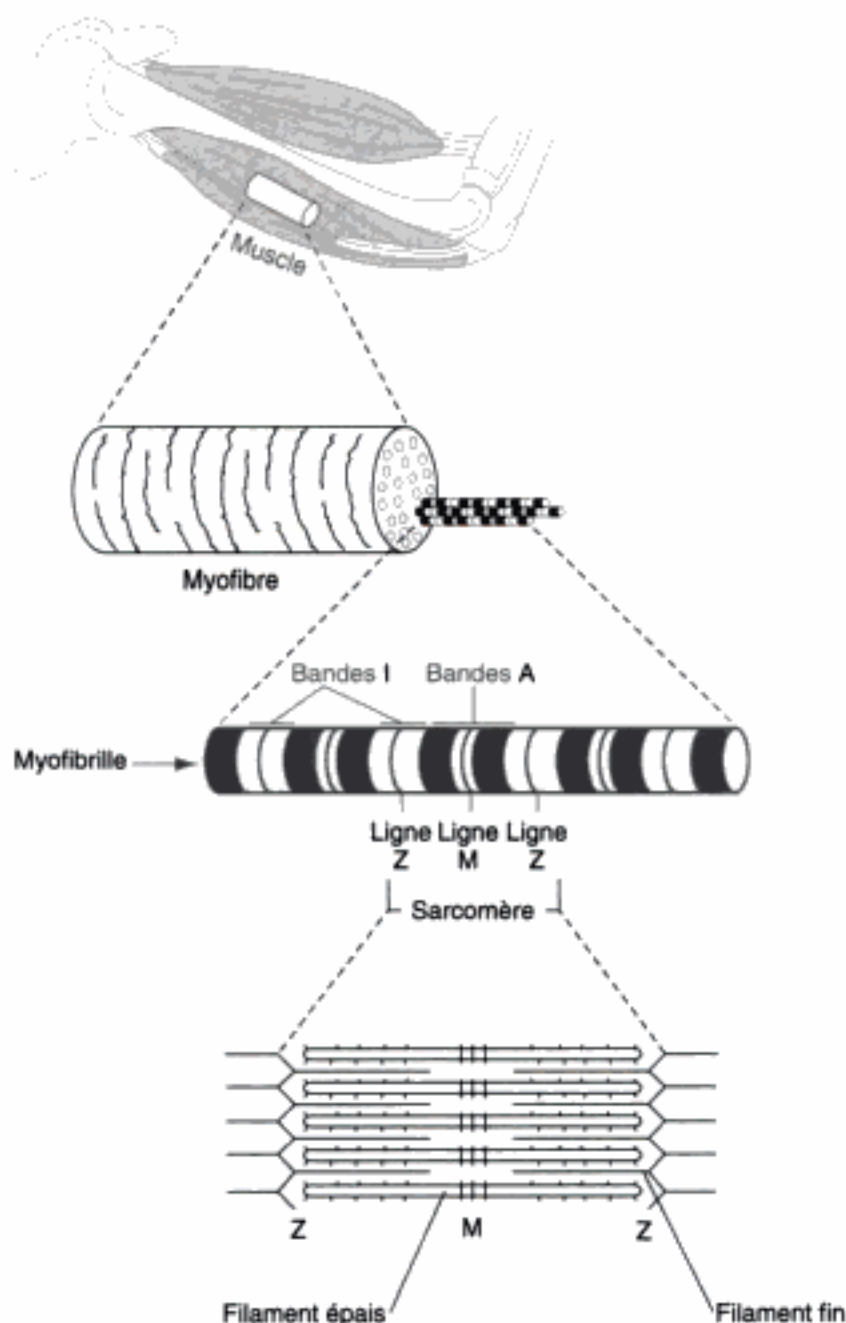


Figure 14.1 La structure du muscle squelettique

2. Les **tendons** attachent les muscles aux os. Le point de fixation, qui reste relativement stable lors d'une contraction, est appelé **origine**, et le site de fixation le plus mobile est appelé **insertion** (figure 14-2).

D. Contrôle nerveux

1. Les **muscles** sont innervés à la fois par des **fibres nerveuses sensorielles et motrices**. Selon le type de muscle, l'innervation motrice peut être somatique ou végétative (voir chapitre 8).
2. Les **tubules transverses** conduisent les PA dans les profondeurs du tissu musculaire. Par conséquent, lorsqu'un PA, en provenance du système nerveux, provoque une dépolarisation des myofibres, la réaction du muscle (i.e., une contraction) peut être mieux coordonnée et mieux synchronisée parce que la dépolarisation a une localisation centrale.

14

2. Le système squelettique

A. Fonction

Le système squelettique humain est un **endosquelette**, c'est-à-dire qu'il est interne, par opposition à l'**exosquelette** des insectes, qui est externe. La fonction du système squelettique est de :

1. **soutenir les structures** du corps
2. **fournir des sites de fixation** aux muscles.

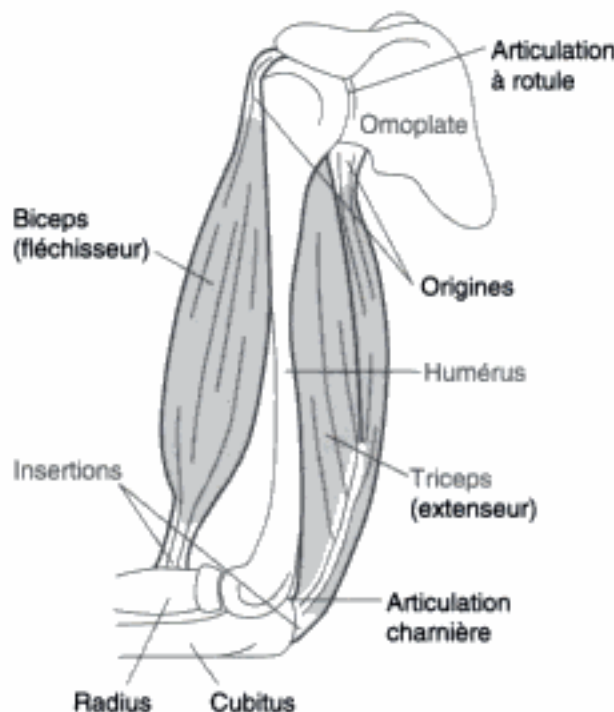


Figure 14.2 Anatomie du bras

Tableau 14.1 Comparaison des caractéristiques spécifiques des types de muscles

Caractéristiques	Muscle squelettique	Myocarde	Muscle lisse
Localisation	Fixé aux os ou au cartilage par des tendons	Tissu du cœur	Dans la paroi des organes creux (e.g., intestin, vaisseaux sanguins)
Forme des cellules	Grandes, allongées, cylindriques, aux extrémités obtuses	Courtes, ramifiées et disposées bout à bout.	Fusiformes, aplaties et aux extrémités pointues
Nombre et localisation des noyaux	Nombreux noyaux périphériques	Un seul noyau central*	Un noyau central
Striations	Présentes	Présentes	Absentes
Vascularisation	Bonne	Riche	Assez bonne
Contrôle de la contraction	Volontaire	Involontaire	Involontaire
Vitesse de contraction	La plus rapide	Moyenne	La plus lente
Capacité à rester contracté	La plus faible	Moyenne	La plus grande

3. produire des cellules sanguines

4. stocker des ions inorganiques (i.e., calcium, phosphore)

5. protéger les organes internes des traumatismes

B. Structure

1. Les concepts de base du système squelettique sont les suivants :

- Le système squelettique humain est fait de **cartilage** (voir 2.D) et d'**os**.
- Une **articulation** est le site où deux, ou plusieurs, os s'associent ou **s'articulent**.
- Des **ligaments** attachent les os les uns aux autres.

2. Le système squelettique humain est subdivisé en **squelettes axial et appendiculaire**

- Le **squelette axial** est constitué des os qui forment le tronc et le crâne. Sa principale fonction est de **protéger les organes internes**. Le squelette axial comprend :
 - la colonne vertébrale
 - Les côtes et le sternum
 - les os suturés* du crâne
- Le **squelette appendiculaire** fournit un soutien aux appendices des extrémités supérieure et inférieure. Ce squelette comporte :
 - les os des épaules et du bassin

- (2) les bras, avant-bras, poignets et mains
 - (3) les cuisses, jambes, chevilles et pieds
3. Plusieurs types d'os sont classés selon leur forme
- a) Les **os longs** comprennent l'humérus, le radius et le cubitus, le fémur, le tibia, le péroné.
 - b) Les **os courts** incluent les os des poignets et des chevilles.
 - c) Les **os plats** comprennent les os du crâne, le sternum et les côtes.
 - d) Les **os irréguliers** incluent les vertèbres.
4. Il y a plusieurs **types** principaux d'**articulations**.
- a) Les articulations de la hanche et de l'épaule sont des **articulations à rotule** qui permettent de **nombreux types de mouvements**.
 - b) Les articulations du coude et du genou sont des **articulations charnières** qui ne permettent un **mouvement que dans un plan**.
 - c) L'articulation de la mâchoire est une **articulation condyloïdale** qui permet **un mouvement dans deux plans**.
 - d) L'articulation du radius et du cubitus est une **articulation rotative** qui **ne permet qu'une rotation**.

C. Les os

1. **Structure.** L'os est un type spécialisé de tissu conjonctif (voir chapitre 7). Le tissu osseux est constitué de cellules incorporées dans une matrice faite de fibres organiques et d'ions inorganiques.

a) Les cellules

- (1) Les **ostéoblastes** sont des cellules qui participent activement à la synthèse de la matrice osseuse. Ils sont stimulés par l'hormone de croissance.
- (2) Les **ostéocytes** sont des ostéoblastes au repos, qui se sont progressivement emprisonnés dans la matrice qu'ils ont eux-mêmes élaborée. Ils peuvent être réactivés si l'os est lésé.
- (3) Les **ostéoclastes** sont des cellules plurinucléées qui remodelent l'os et libèrent des constituants inorganiques (i.e., calcium, phosphore) et organiques. Ils sont stimulés par la parathormone.

b) La matrice

- (1) La matrice **organique** est faite de fibres de collagène (principalement de type I) et de glycoprotéines.
- (2) La matrice **inorganique** est constituée d'ions dont la forme la plus abondante est le phosphate de calcium, présent sous une forme cristalline d'**hydroxyapatite**.

2. Types d'os

- a) L'**os primaire (immature)** est le premier os formé chez le fœtus. On le trouve également lors de la réparation d'un os (i.e., il est tem-

poraire). L'os primaire a une organisation irrégulière et un contenu inorganique faible.

b) L'os adulte

(1) **L'os spongieux** est localisé dans les espaces médullaires des os longs (figure 14-3A et B). Les caractéristiques structurales de l'os spongieux sont les suivantes :

- (a) des trabécules interconnectées formant un réseau
- (b) une moelle osseuse présente dans les espaces du réseau

(2) **L'os compact** est la couche externe dure de l'os (figure 14-3). La structure de l'os compact est constituée de nombreuses unités faites de lamelles concentriques appelées **ostéons** ou **systèmes haversiens** (figure 14-3 C). Chaque ostéon possède un canal central, emprunté par les vaisseaux sanguins, et ses lamelles de matrice osseuse, concentriques au canal, sont bordées de logettes dans lesquelles sont emprisonnés les ostéocytes*.

- (a) Les **canaux de Volkmann** permettent aux vaisseaux sanguins de pénétrer à l'intérieur de l'os.
- (b) Les **canaux de Havers** renferment les vaisseaux sanguins qui apportent les nutriments à l'ostéon.
- (c) Les **logettes** sont des espaces de la matrice osseuse qui hébergent le corps cellulaire des ostéocytes.
- (d) Les **canalicules** forment un réseau de voies de communication entre les logettes, permettant aux ostéocytes de communiquer et d'échanger des nutriments.

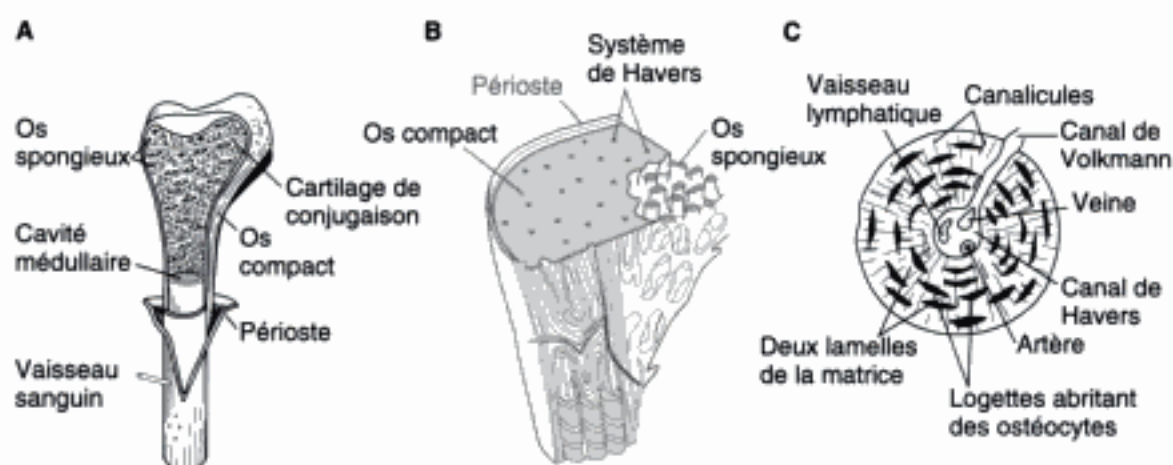


Figure 14.3 Anatomie de l'os

En **A**), noter la présence de périoste, couche externe fibreuse, qui recouvre l'os. L'os compact est la couche externe de l'os. L'os spongieux est la couche interne. En **B**), les ostéons (systèmes haversiens), qui sont les petites unités fonctionnelles de l'os, sont visibles. En **C**), la microstructure d'une coupe transversale d'un ostéon est représentée. Noter les logettes abritant les ostéocytes.

Hidden page

15

Le système respiratoire

1. Fonction et anatomie de base des voies aériennes et des poumons

A. Fonction

Au cours de la respiration cellulaire, les organismes consomment de l'oxygène et produisent du dioxyde de carbone. Les organismes dont la taille est inférieure à 0,5 mm peuvent utiliser la diffusion pour les seuls échanges gazeux. Lorsque les organismes acquièrent une taille plus importante, les distances de diffusion augmentent et le rapport de la surface d'échange au volume se réduit. Pour faciliter les échanges gazeux, les animaux de grande taille ont développé un système circulatoire et un système respiratoire.

B. Anatomie (figure 15-1)

1. ***Les structures des voies aériennes supérieures** comprennent le nez, la bouche et le pharynx. L'air pénètre par le nez, ou la bouche, et se déplace vers le pharynx. Le **pharynx**, ou gorge, se situe en arrière des orifices internes du nez (choanes), de la langue et du larynx. L'air se déplace ensuite vers le larynx.
2. ***Les voies aériennes inférieures** ou appareil broncho-pulmonaire
 - a) Le **larynx**, court passage entre le pharynx et la trachée, renferme les cordes vocales. L'air doit passer entre les deux cordes vocales pour pénétrer dans la trachée.
 - b) La **trachée** est un tube rendu rigide par la présence d'anneaux cartilagineux, ouverts à l'arrière. La rigidité de la trachée l'empêche de s'affaisser quand, lors de l'inspiration, y règnent des pressions négatives.
 - c) Les **bronches principales** (souches) sont les deux ramifications principales de la trachée. Il y a une bronche principale à droite et une à gauche.

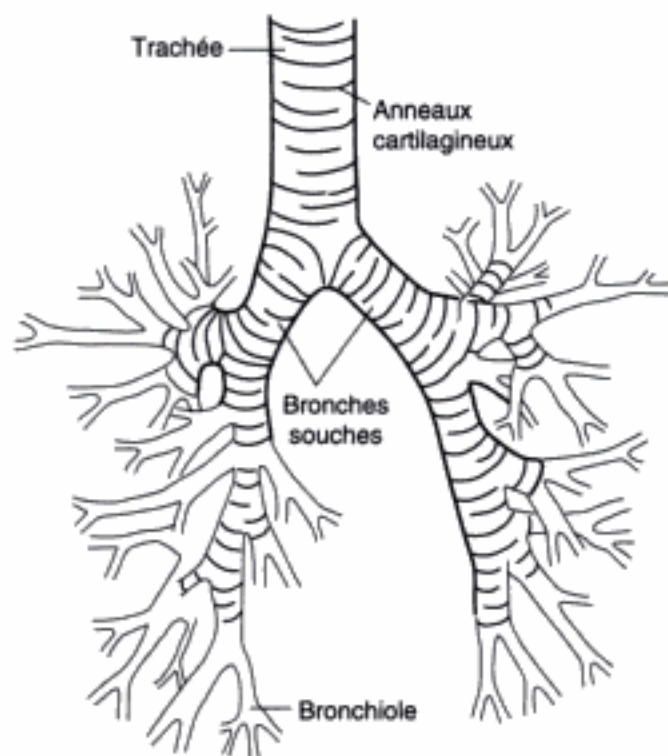


Figure 15.1 Les voies aériennes des poumons

- d) Les **bronchioles** sont les ensembles de ramifications plus petites obtenues chaque fois que la bronche principale se divise (elle peut se ramifier plus de 20 fois). La plupart des ramifications initiales ont une paroi renforcée par des plaques de cartilage et sont rigides. La paroi des dernières ramifications renferme des muscles lisses qui permettent aux bronchioles d'effectuer des dilatations et des contractions.
- e) L'**alvéole** est la structure la plus petite à l'extrémité des dernières ramifications. Les alvéoles sont bordées par un épithélium simple pavimenteux. Ce sont des cavités sphériques au niveau desquelles s'effectuent les échanges gazeux (figure 15-2). Ces échanges se réalisent essentiellement au travers des membranes des cellules des alvéoles (pneumocytes I). Il y a plus de 300 millions d'alvéoles dans les poumons d'un être humain adulte.
- f) Les **sacs alvéolaires** sont constitués par des groupes d'alvéoles. Les sacs alvéolaires communiquent les uns avec les autres par des **canaux alvéolaires**.
- g) La **bronchiole terminale** transporte l'air au réseau alvéolaire.
- h) Un **acinus** est un ensemble de sacs alvéolaires approvisionné par une bronchiole terminale.

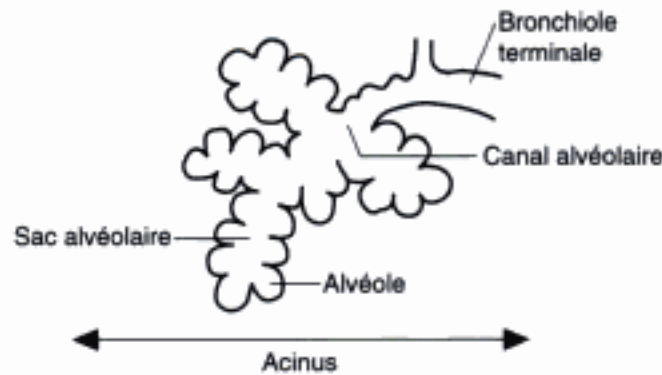


Figure 15.2 Les composants les plus petits de l'arbre respiratoire

15

3. Le **surfactant** est une matière essentiellement lipidique, présente dans le film liquidien qui recouvre la surface alvéolaire*. Il est sécrété par les pneumocytes II dispersés dans l'épithélium alvéolaire*. Cette substance diminue la tension superficielle à l'intérieur de chaque alvéole et réduit la probabilité d'affaissement des alvéoles. Certains enfants prématurés présentent une détresse respiratoire et un affaissement alvéolaire du fait qu'ils ne produisent pas suffisamment de surfactant.

2. Hémoglobine, échanges gazeux et réactions respiratoires

A. Hémoglobine

L'hémoglobine est un pigment respiratoire présent dans les hématies*. C'est le principal transporteur d'oxygène dans le sang.

1. **Structure.** L'hémoglobine est une grosse molécule dont la masse moléculaire est de 68 000 daltons.
 - a) Chaque molécule contient **quatre sous-unités**, et chaque sous-unité renferme une **chaîne polypeptidique** (la globine) et un groupement prosthétique contenant du fer ferreux*, l'**hème**.
 - b) *Chez l'adulte, les **chaînes polypeptidiques** sont soit **alpha**, soit **bêta**. Chaque molécule d'hémoglobine contient deux chaînes alpha (α_1 et α_2)* et deux chaînes bêta (β_1 et β_2)*. Chaque chaîne possède un hème.
2. **Propriétés de liaison.** Chaque sous-unité peut fixer une molécule d'oxygène. Ainsi, **une molécule d'hémoglobine peut-elle fixer quatre molécules d'oxygène**. L'hémoglobine totalement oxygénée est appelée **oxyhémoglobine***. La fixation de la première molécule d'oxygène (sur l'hème de la chaîne α_1)* facilite la fixation des molé-

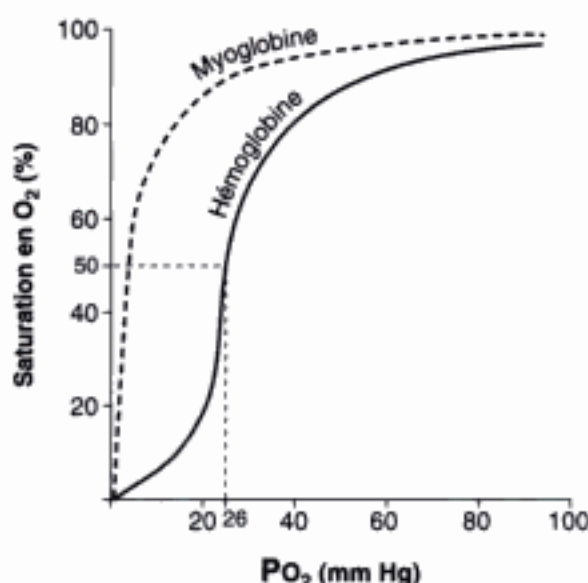


Figure 15.3 *Courbes de dissociation de l'hémoglobine et de la myoglobine*

Noter que dans des conditions normales, la valeur de la P_{50} , pour la courbe de saturation de l'hémoglobine, se situe aux environs de 26 mm Hg*.

les d'oxygène suivantes (sur l'hème de la chaîne α_2 , puis de β_1 et enfin de β_2)*. C'est ce qu'on désigne sous le terme de **coopération allostérique* positive**.

3. **Comparaison myoglobine/hémoglobine.** La **myoglobine** est un pigment de stockage de l'oxygène localisé dans le tissu musculaire. La principale différence structurale entre myoglobine et hémoglobine réside dans le fait que la myoglobine ne comporte qu'une sous-unité contenant un hème. La myoglobine ne peut fixer qu'une molécule d'oxygène et donc elle ne présente pas de coopération allostérique positive.
4. Les **courbes de saturation* de l'hémoglobine et de la myoglobine** (figure 15-3). Les courbes de saturation de l'hémoglobine (ou de dissociation de l'oxyhémoglobine)*, ou de la myoglobine, présentent la pression partielle en oxygène (PO_2) en abscisse et le pourcentage de saturation en oxygène de l'hémoglobine, ou de la myoglobine, en ordonnée. L'air ambiant a une PO_2 d'environ 150 mm Hg. À noter que la courbe de saturation de la myoglobine est hyperbolique alors que celle de l'hémoglobine est **sigmoïde**.
 - a) La **myoglobine** n'a qu'un hème et ne peut donc fixer qu'une molécule d'oxygène si bien qu'elle se sature rapidement en oxygène.
 - b) L'**hémoglobine** fixe sa première molécule d'oxygène plus lentement et la fixation de chaque molécule d'oxygène suivante se fait à chaque fois plus facilement (i.e., coopération allostérique positive), provoquant la brusque montée de la courbe et sa forme sigmoïde.

- c) **Les deux courbes s'aplatissent** lorsque les pigments sont totalement saturés en oxygène.
- d) *La **P50** est la valeur de la PO_2 pour laquelle l'hémoglobine est oxygénée à 50%. Dans les conditions normales, elle est de 26 ± 1 mm Hg.

5. Facteurs influençant la courbe de saturation de l'hémoglobine.

L'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène est instable. Elle peut augmenter lors d'une diminution de la température, d'une augmentation du pH ou pour des niveaux de diphosphoglycérate (DPG) faibles. Cette augmentation de l'affinité provoque un glissement de la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine vers la gauche et se traduit par une diminution de la P_{50} *. Les variations inverses réduisent l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène et provoquent un glissement de la courbe vers la droite et une augmentation de la P_{50} (figure 15-4) :

- a) Une **augmentation de température** rend l'oxygénation de l'hémoglobine plus difficile. L'hémoglobine cède également plus facilement de l'oxygène à des températures élevées. À des températures corporelles élevées, le taux du métabolisme est plus élevé et les besoins en oxygène au niveau tissulaire sont plus importants.
- b) Lorsque la **concentration en dioxyde de carbone s'accroît**, le CO_2 se transforme en acide carbonique et le **pH sanguin diminue**. Une diminution du pH sanguin rend l'oxygénation de l'hémoglobine plus difficile et favorise la livraison d'oxygène aux tissus. L'effet du pH sur l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène est appelé **effet**

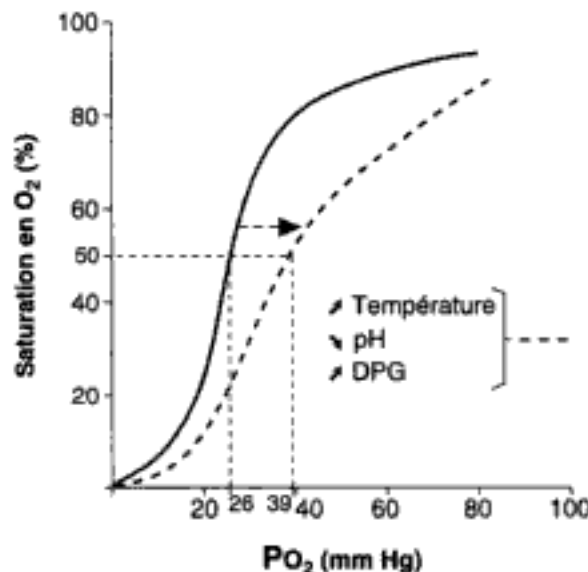


Figure 15.4 Effets d'une augmentation de température, d'une diminution du pH et d'une augmentation de la concentration du diphosphoglycérate (DPG) sur la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine. Noter le glissement de la courbe vers la droite.

Bohr. La libération accrue d'oxygène par l'hémoglobine est très utile lors d'exercice, de stress ou d'acidité sanguine accrue.

- c) **Augmentation de la concentration en DPG.** L'augmentation des produits du métabolisme anaérobie diminue l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène et augmente la libération d'oxygène aux tissus. Le DPG est produit lors du métabolisme anaérobie (glycolyse) et a un effet direct sur l'hémoglobine. Dans les conditions anaérobies, les niveaux de DPG augmentent et l'hémoglobine cède plus facilement l'oxygène. Il y a donc plus d'oxygène disponible au niveau tissulaire pour assurer un métabolisme oxydatif.

- 6. **Hémoglobine fœtale.** Le fœtus a sa propre hémoglobine (deux chaînes α_1 et α_2 comme l'adulte, mais deux chaînes γ_1 et γ_2 en lieu et place des chaînes β)* et elle doit constituer une force attractive, favorisant la diffusion de l'oxygène du sang maternel vers le sang du fœtus. L'hémoglobine fœtale a une **plus grande affinité pour l'oxygène que l'hémoglobine adulte** ; c'est ceci qui augmente le transfert d'oxygène de la mère au fœtus. Par conséquent, la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine fœtale se situe à gauche de la courbe adulte.

B. Échanges gazeux

- 1. **Diffusion.** L'oxygène doit diffuser de la lumière des alvéoles aux hématies et le dioxyde de carbone doit diffuser des hématies, ou du plasma, aux alvéoles.
- 2. La **barrière air-sang** (barrière alvéolo-capillaire ou membrane pulmonaire)*. Les gaz doivent traverser plusieurs couches (figure 15-5). Ces couches sont énumérées ici dans l'ordre correspondant à leur traversée par les molécules gazeuses, en allant de l'alvéole au sang :
 - a) un film superficiel de liquide recouvrant la surface alvéolaire (contenant du surfactant)
 - b) l'épithélium alvéolaire
 - c) une couche de liquide interstitiel
 - d) l'endothélium des capillaires
 - e) le plasma sanguin
 - f) la membrane plasmique des hématies

C. Les réactions de prise en charge et de décharge de l'oxygène (figure 15-6)

- 1. **Réactions au niveau des hématies.** Une série de réactions importantes se produisent au niveau des hématies.
 - a) Les **ions hydrogène** jouent un rôle important dans la prise en charge et la décharge de l'oxygène. L'ion hydrogène **se lie à l'hémoglobine (Hb) pour donner de l'HHb** (hémoglobine réduite). L'hémoglobine est sous forme de HHb dans les hématies

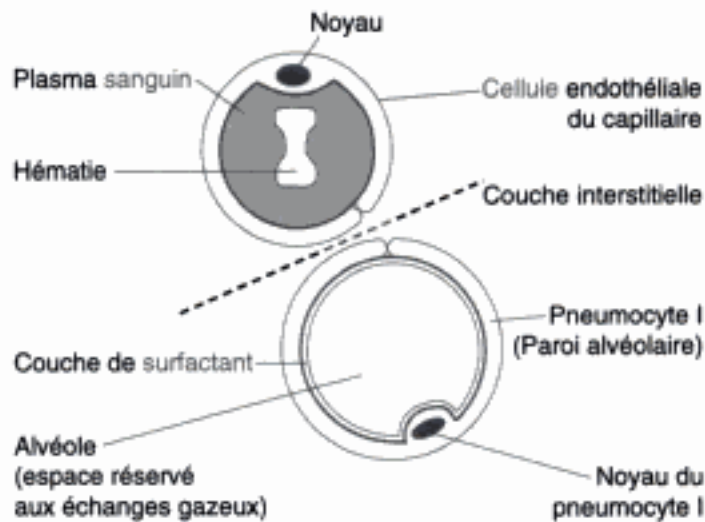


Figure 15.5 Schéma montrant, en coupe transversale, la structure microscopique de la barrière air-sang

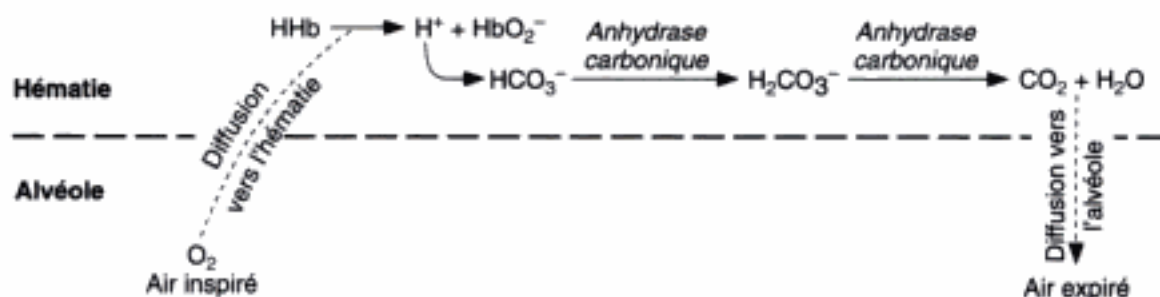
qui arrivent au niveau des poumons (voir figure 15-6A) Lorsqu'une hématie approche d'une alvéole, l'**oxygène** diffuse au travers des diverses couches pour entrer dans l'hématie.

- b) L'**oxygène** se dirige alors vers l'HHb où il déplace l'ion hydrogène de l'hémoglobine pour **se lier lui-même au pigment, formant de l'oxyhémoglobine (HbO_2)**
- c) L'**ion hydrogène supplanté se lie à l'ion bicarbonate**, dans le cytoplasme de l'hématie, pour **donner de l'acide carbonique (H_2CO_3)**. Cette réaction est catalysée par une enzyme présente dans l'hématie, l'**anhydrase carbonique***.
- d) Cette même enzyme convertit ensuite l'**acide carbonique en CO_2 et H_2O** . Le dioxyde de carbone et l'eau sortent de l'hématie par diffusion avant de passer dans l'alvéole et d'être expulsés (i.e., expirés)

2. Réactions inverses au niveau des tissus (voir figure 15-6B)

- a) L' HbO_2 est la forme de l'hémoglobine qui transporte l'oxygène aux tissus.
- b) Au niveau des tissus, le CO_2 et l' H_2O produits par le métabolisme pénètrent par diffusion dans l'hématie. L'anhydrase carbonique les convertit en acide carbonique. Cet acide carbonique se dissocie alors partiellement* en ion hydrogène et en bicarbonate.
- c) L'ion hydrogène déplace l'oxygène de l'oxyhémoglobine et se lie à l'Hb, formant de l'HHb. L'oxygène gagne les tissus*.
- d) L'ion bicarbonate reste dans l'hématie ou diffuse dans le plasma.
- e) Le cycle se répète lorsque l'HHb se déplace vers les poumons pour prélever l'oxygène et décharger le dioxyde de carbone et l'eau.

A



B

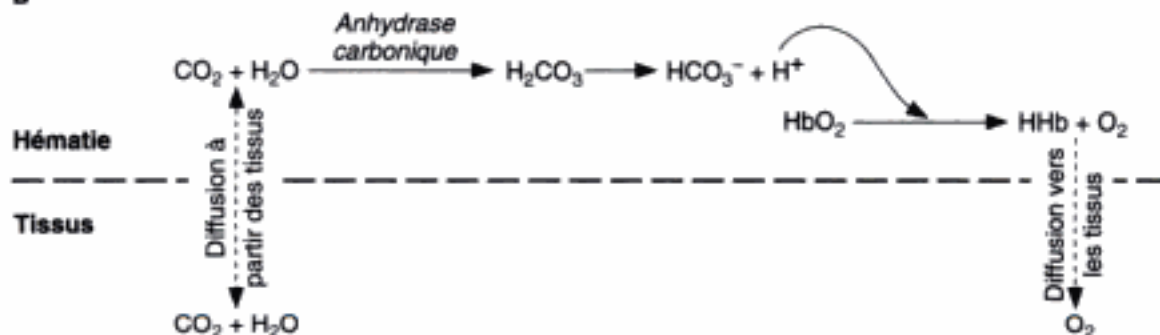


Figure 15.6 Réactions illustrant la prise en charge et la décharge de l'oxygène
A) à l'interface hématie-alvéole et B) à l'interface hématie-tissu

CO_2 = dioxyde de carbone ; H^+ = ion hydrogène ; HbO_2 = oxyhémoglobine ;
 HCO_3^- = bicarbonate ; HHb = hémoglobine réduite ; H_2O = eau ; O_2 = oxygène. *

3. Mécanique de la ventilation

A. Inspiration et expiration

1. **L'inspiration** est un processus actif qui requiert de l'énergie.

a) **Mécanisme.** Lors de l'inspiration, le **diaphragme se contracte** et repousse le foie et les intestins vers le bas. Les muscles intercostaux externes, localisés entre les côtes, se contractent et déplacent la cage thoracique vers le haut et vers l'avant. L'action est similaire à celle d'un soufflet.

b) **Fonction.** La fonction des muscles inspiratoires est d'**augmenter le volume du thorax**. Lorsque le volume du thorax augmente, la pression à l'intérieur des voies aériennes pulmonaires diminue par rapport à la pression ambiante.

c) Cette **pression différentielle** fait entrer l'air dans les poumons. L'air est attiré dans les voies aériennes grâce au gradient de pression créé par l'augmentation de volume de la cage thoracique.

2. L'**expiration** est habituellement un processus passif. Toutefois, il peut y avoir une expiration forcée par contraction de muscles du cou et des muscles intercostaux internes.

a) **Mécanisme.** Le diaphragme se relâche et se déplace vers le haut. Le foie et les intestins repoussent la base des poumons. Les muscles intercostaux externes se relâchent et la cage thoracique se déplace vers le bas et vers l'arrière.

b) **Fonction.** La combinaison du relâchement des muscles inspiratoires et du repli des poumons diminue le volume de la cage thoracique créant, dans les voies aériennes, une pression supérieure à la pression ambiante. L'air se déplace alors en suivant son gradient de pression : il est expulsé.

B. Espaces et pressions pulmonaires

1. La figure 15-7 montre l'**espace pleural** du thorax. Cet espace est occupé par un petit volume de liquide pleural. De plus, il y a un double feuillet pleural bordant chaque poumon. L'espace pleural est un espace potentiel entre ces deux feuillets :

a) la **plèvre pariétale** qui tapisse la face interne de la cage thoracique

b) la **plèvre viscérale** qui s'applique directement sur les poumons.

2. Les poumons ont, par leur **élasticité, continuellement tendance** à s'affaisser et à s'éloigner de la paroi de la cage thoracique. Ceci est dû,

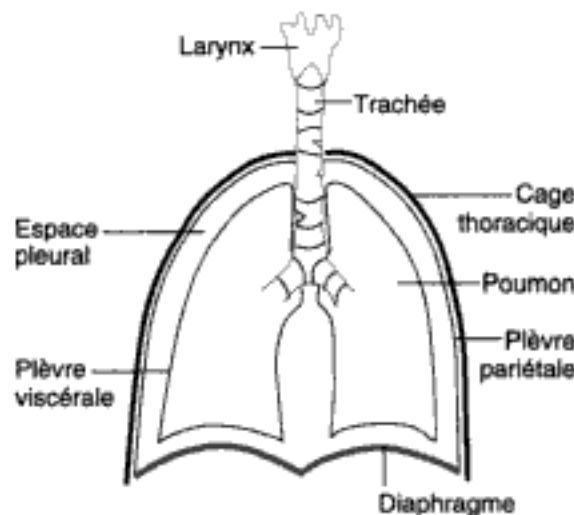


Figure 15.7 Schéma des poumons, des plèvres et de l'espace pleural

en partie, à la tension superficielle existant dans les alvéoles. La composante élastique du poumon contribue aussi à ce repli.

3. La **tendance totale au repli** des poumons peut être mesurée par la valeur de la pression négative, régnant dans l'espace pleural, requise pour empêcher l'affaissement des poumons. Cette pression est la **pression intrapleurale** qui est de -4 mm de Hg environ. Lorsque les voies aériennes sont ouvertes à la pression atmosphérique, une pression négative d'environ -4 mm de Hg est nécessaire pour garder les poumons normalement distendus et pour lutter contre la tension superficielle et la force des fibres élastiques.

4. Thermorégulation

A. Une augmentation de la ventilation pulmonaire accroît la perte de chaleur par le système respiratoire

1. Lorsque l'air est inspiré, il est réchauffé et humidifié.
2. Lorsque l'air est expiré, il est refroidi dans les voies respiratoires, tout en conservant une certaine quantité de chaleur potentiellement perdue. Cependant, lorsque le rythme ventilatoire augmente, il y a moins de temps disponible pour récupérer l'énergie calorifique.

B. Les mammifères et les oiseaux contrôlent leur perte de chaleur par le système respiratoire pour réguler leur température corporelle.

Pour accroître la perte de chaleur, les mammifères respirent par la bouche et accélèrent leur ventilation. Un chien qui halète, par exemple, inspire par le nez et expire par la bouche. Sa langue, largement étalée, favorise l'évaporation d'eau et donc la perte de chaleur.

5. Mécanismes protecteurs contre la maladie et les particules

A. Les voies aériennes supérieures sont tapissées par un épithélium cilié, riche en cellules à mucus.

1. Le **mucus** produit dans les voies aériennes supérieures, est remonté vers le larynx par les cils. Il est ensuite dégluti lorsqu'il arrive dans la gorge.
2. Le rôle du mucus est de **piéger les petites particules** tels que poussières, saletés, bactéries et pollen.

B. Les cavités nasales piègent également les particules : elles constituent la première ligne de défense lors de l'inspiration.

1. Les **cils** et le **mucus** des **cavités nasales** piègent de nombreuses particules parmi les plus grosses.
 2. Les petites particules, qui descendent jusque dans l'arbre bronchique, peuvent être **phagocytées** par des macrophages.
- C. Les **poumons** sont protégés par le système immunitaire ; il y a des **macrophages résidants**, un flux constant de cellules immunitaires circulantes qui le protègent et un apport régulier d'anticorps de surface, fabriqués par des lymphocytes de la paroi intestinale, les IgA*.

Hidden page

16

La peau

1. Structure de la peau

A. L'épiderme, qui dérive de l'ectoderme, est constitué d'un **épithélium stratifié pavimenteux squameux**, qui traduit la présence de filaments intermédiaires de kératine (voir chapitre 7). Cet épithélium comprend plusieurs couches de cellules avec, à la base, une couche reposant sur une **lame basale** qui sépare l'épiderme du **derme** sous-jacent (voir 2.B.).

1. Lorsque les **cellules mortes** sont éliminées de la surface cutanée, elles sont **remplacées par des cellules situées au-dessous**. La vitesse de remplacement des cellules est égale à la vitesse de desquamation, si bien que l'épiderme garde une épaisseur constante. Il faut préciser, toutefois, que l'épaisseur de l'épiderme varie dans les différentes parties du corps.
2. Les **cellules de la couche basale** (ou couche germinative)*, situées juste au-dessus de la lame basale, se divisent rapidement et continuellement. Lorsque les cellules migrent vers la surface du corps, elles se différencient et commencent à synthétiser une protéine, la **kératine**. La kératine contribue à la résistance mécanique et à la souplesse de la peau.
3. Comme l'épiderme ne contient pas de vaisseaux sanguins, **les cellules en cours de différenciation sont de plus en plus privées de nutriments** et, par conséquent, ont un métabolisme moins actif. Lorsque les cellules s'approchent de la surface de la peau, elles perdent leur noyau, meurent, et sont éliminées par abrasion physique.

B. Le derme est la **couche de tissu conjonctif** située entre l'épiderme et l'hypoderme (voir 1.C.). Comme les autres tissus conjonctifs (voir chapitre 7), le derme renferme des fibres de collagène, de réticuline et d'élastine. Le réseau de fibres agit comme un maillage assurant la connexion entre la lame basale et les structures associées à la peau (e.g.,

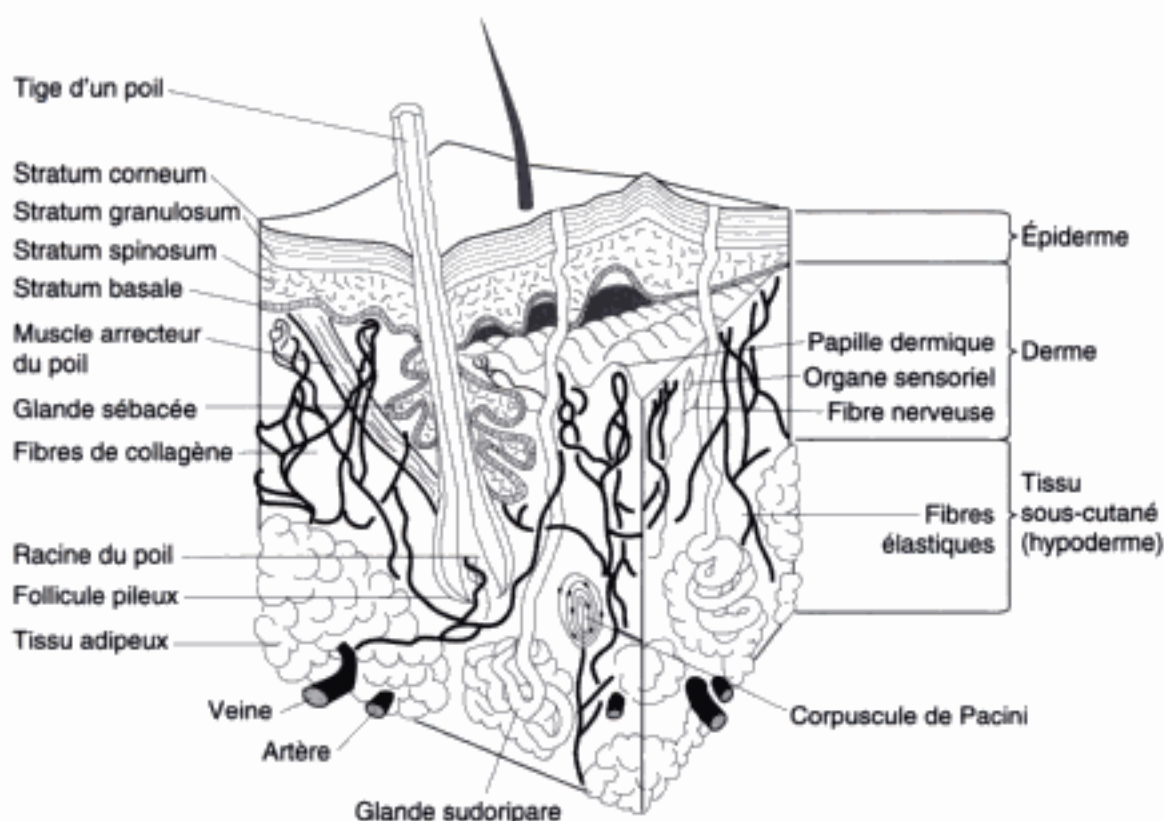


Figure 16.1 Structure microscopique de la peau

(Reproduite avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*. Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 662.)

poils, glandes). Contrairement à l'épiderme, le derme possède un riche réseau de capillaires qui nourrit directement le derme et indirectement l'épiderme par diffusion des nutriments et des gaz au travers de la lame basale. Le derme renferme de nombreuses **structures associées à la peau** (figure 16-1).

1. Les glandes

a) Les **glandes sébacées** produisent le **sébum**. Le sébum est une substance huileuse qui recouvre la surface externe de la peau, ralentit l'évaporation de l'eau et joue un rôle antimicrobien. Le sébum est sécrété par des canaux qui débouchent dans la gaine du follicule pileux et, de cette façon, il traverse l'épiderme pour gagner la surface de la peau.

b) Les **glandes sudoripares** sécrètent des produits de déchets du métabolisme, du sel et d'autres ions, et de l'eau.

2. Les **follicules pileux** partent du derme et s'étendent au travers de l'épiderme dont ils sont initialement dérivés. Les poils sont étroitement associés aux glandes sébacées ainsi qu'à plusieurs structures sensorielles (voir chapitre 8). Pour redresser les poils, les muscles

arrecteurs des poils se contractent et, ce faisant, amènent la tige du poil perpendiculairement à la surface de la peau.

- C. L'hypoderme** est une couche de **tissu sous-cutané** située au-dessous du derme. Dans l'hypoderme, se trouvent de nombreuses cellules riches en graisse, les adipocytes. Les **adipocytes** forment une couche de graisse sous-cutanée qui aide à isoler le corps. Le réseau de capillaires a tendance à y être moins dense car les adipocytes ont un métabolisme moins actif que la plupart des cellules.

2. Fonctions de la peau

16

A. Homéostasie et osmorégulation

1. **L'homéostasie** est la tendance des organismes à **maintenir un milieu interne stable** malgré les changements qui surviennent dans leur environnement externe. Chez tous les organismes, un milieu interne dynamique, mais équilibré, doit être maintenu. Pour atteindre cet objectif, les processus métaboliques doivent être contrôlés et constamment ajustés. Ces mesures de contrôle autorégulantes sont extrêmement sensibles aux petites perturbations et empêchent, de façon remarquablement efficace, les pertes excessives de temps et d'énergie.
2. **L'osmorégulation** est le processus qui **assure l'équilibre hydrique du corps** tout en **régulant la concentration et la répartition des divers ions**.
 - a) **Les glandes sudoripares.** Bien que les reins soient les principaux centres osmorégulateurs, les glandes sudoripares de la peau excrètent 5 à 10% des déchets métaboliques du corps dont du sel (NaCl)* et de l'urée. La transpiration peut varier de 0,5 litre, en conditions tempérées, à 2 à 3 litres lorsqu'il fait chaud. Cette perte d'eau et de sel participe au contrôle de l'osmolarité corporelle.
 - b) **Protection contre la déshydratation.** La peau joue un autre rôle essentiel dans l'osmorégulation en protégeant l'organisme contre la déshydratation. La peau humaine est imperméable à l'eau et, par conséquent, constitue une barrière aux échanges d'eau avec l'environnement. Chez d'autres animaux, tels les amphibiens, la peau est perméable à l'eau, ce qui permet à ces animaux d'effectuer directement l'osmorégulation avec leur environnement.

B. La thermorégulation

La régulation de la température corporelle est un exemple de phénomène homéostatique. Bien qu'une certaine quantité de chaleur soit dissipée lors de la respiration, de la défécation et de la miction, **90% de la perte totale de chaleur se fait par la peau.**

1. Lorsque la température du corps augmente, des cellules de l'hypothalamus détectent cette augmentation et envoient des messages nerveux pour mettre en jeu les mécanismes compensateurs*.

a) Augmentation de la production de sueur. Les neurones orthosympathiques (voir chapitre 8) stimulent les glandes sudoripares pour accroître leur production de sueur. L'évaporation de la sueur qui s'ensuit, à la surface de la peau, favorise la baisse de la température corporelle. À la surface cutanée, la chaleur est dissipée par transformation de la sueur en vapeur d'eau.

b) Vasodilatation. D'autres influx nerveux gagnent les artéioles* de la peau et y provoquent une vasodilatation. Le phénomène augmente le volume de sang apporté à la surface de la peau et donc accroît la perte de chaleur par radiation.

2. Lorsque la température corporelle diminue, l'hypothalamus détecte la perte de chaleur.

a) Vasoconstriction. L'hypothalamus envoie des messages nerveux aux artéioles cutanées afin d'y induire une vasoconstriction. La diminution du débit sanguin réduit la perte de chaleur par radiation.

b) Contraction musculaire (frisson). Lors de pertes de chaleur plus importantes, des influx nerveux stimulent les muscles squelettiques et les incitent à se contracter rapidement. Le frisson engendre de la chaleur sans provoquer une grande perte d'énergie car le mouvement corporel est minime.

C. Protection physique

La peau constitue une barrière physique entre le corps et l'environnement externe. Cette séparation physique assure plusieurs fonctions.

1. Les agents infectieux ne peuvent pas entrer
2. Les préjudices provoqués par des toxines chimiques, les fluctuations extrêmes de température et les rayons ultraviolets sont réduits
3. Le corps est protégé des frottements abrasifs rencontrés lors du mouvement.

17

Le système reproducteur

1. Le système reproducteur masculin

A. Organes génitaux et gonades

Le système reproducteur masculin est composé des structures représentées dans la figure 17-1. La fonction globale de ce système est de produire un sperme arrivé à maturité et actif et de le libérer hors du corps.

1. Cheminement du sperme. Les **spermatogonies** sont les gamétocytes mâles (figure 17-2).

a) Ces cellules germinales primordiales naissent dans les **tubes séminifères des testicules**.

b) Les spermatogonies sont nourries par les **cellules de Sertoli**. Le développement des spermatogonies prend plusieurs jours. Les spermatozoïdes arrivés à maturité sont concentrés et stockés dans l'**épididyme** inférieur jusqu'à l'éjaculation.

c) Dès l'excitation, le pénis s'engorge de sang et les spermatozoïdes sont propulsés dans le **vas deferens** (canal déférent)* lors de l'éjaculation.

d) Du canal déférent, les spermatozoïdes passent, par séquences, dans l'**urètre** et sortent du corps.

2. Le sperme, ou éjaculat, contient des **spermatozoïdes** et du **liquide séminal**. Une éjaculation produit 3 à 4 ml de sperme et contient de 300 à 500 millions de spermatozoïdes.

a) Le liquide séminal est **sécrété par les glandes sexuelles accessoires mâles**. Il en existe trois types :

(1) La **prostate** est la glande productrice de liquide séminal la plus importante (75% du liquide séminal contenant acide citrique, fibrinolysine...)*. Il n'y a qu'une prostate.

(2) Les **vésicules séminales** sont des glandes paires qui sécrètent, notamment, du fructose et du fibrinogène*.

(3) Les **glandes bulbo-urétrales** (ou glandes de **Cowper**) sont paires et produisent une sécrétion mucoïde, partie intégrante du sperme.

b) Le liquide et ses constituants assurent plusieurs rôles

(1) Le **liquide** est le moyen de transport des spermatozoïdes hors du corps.

(2) Le **fructose**, présent dans le liquide, est la source d'énergie des spermatozoïdes.

(3) Dans le liquide, il peut y avoir des **substances** qui protègent les spermatozoïdes de l'environnement inhospitalier de l'utérus.

B. Spermatogenèse

1. **Gamétogenèse.** La gamétogenèse est le processus par lequel les cellules sexuelles, ou **gamètes**, sont produites (i.e., les spermatozoïdes chez l'homme ; l'ovocyte chez la femme).

a) Les **gamètes** ne contiennent qu'un assortiment de chromosomes (i.e., 23 chromosomes) et sont **haploïdes**. (Les **cellules somatiques** sont **diploïdes** ; elles contiennent 23 paires de chromosomes,

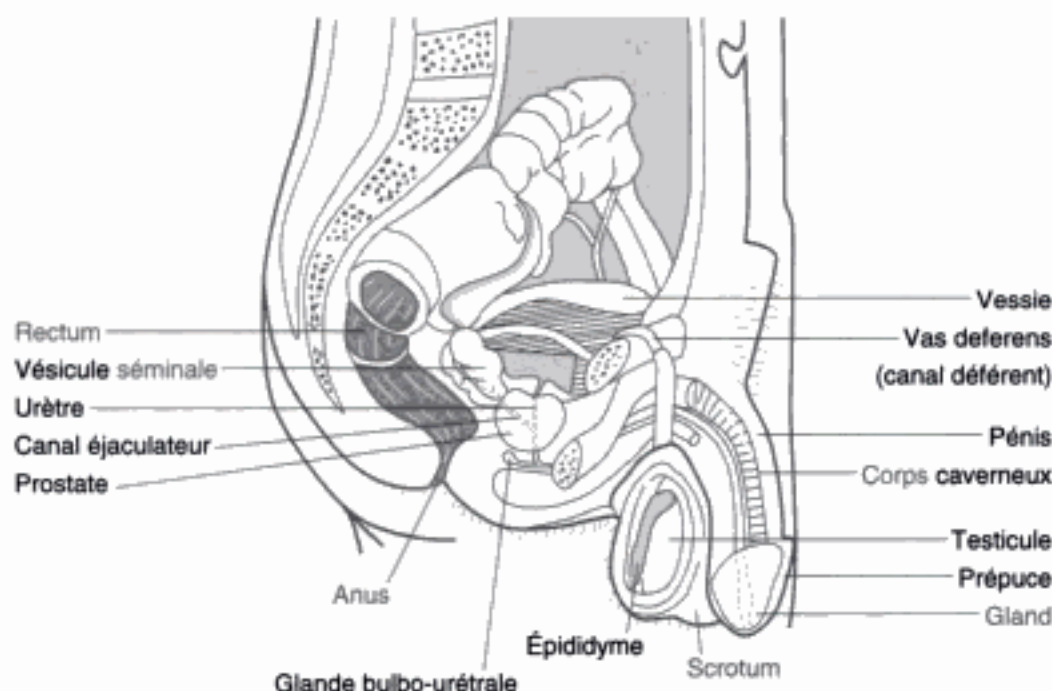


Figure 17.1 Anatomie du système reproducteur masculin

(Reproduite avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*. Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 934).

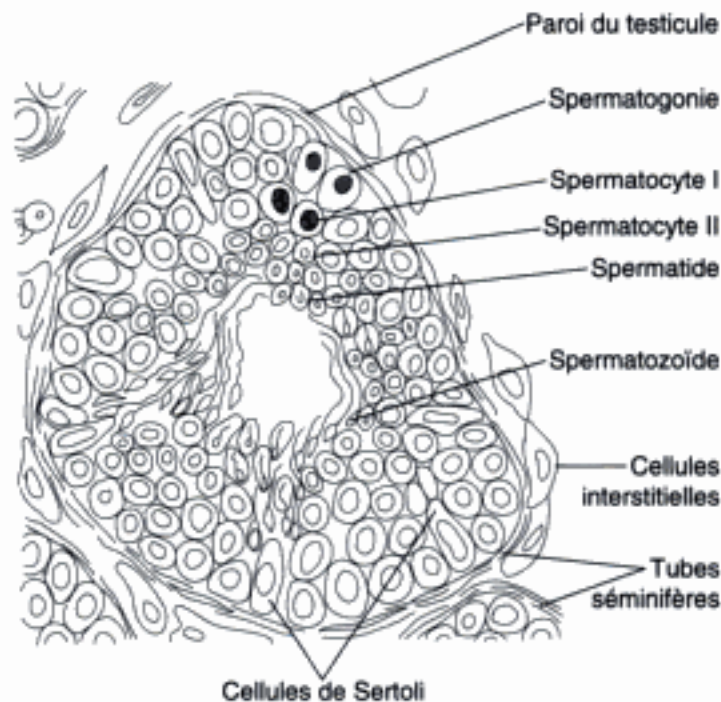


Figure 17.2 Épithélium séminifère

Noter que les cellules immatures sont des spermatogonies et qu'elles sont à la périphérie des tubes. Lorsque les cellules subissent la spermatogenèse et arrivent à maturation, elles se déplacent vers le centre du tube et deviennent des spermatozoïdes. (Reproduit avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*, Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 935).

ou 46 chromosomes, un membre de chaque paire venant de chacun des parents).

- b) La **réduction du nombre des chromosomes** a lieu lors de la **méiose** (voir chapitre 19), qui précède la gamétogenèse.
- c) *Lorsque, l'ovocyte et le spermatozoïde s'unissent, à la fécondation, l'œuf obtenu **retrouve un état diploïde**.

2. Spermatogenèse. Chez tous les vertébrés, la spermatogenèse a lieu dans les **testicules**.

- a) Les **spermatogonies**, cellules germinales primitives non spécialisées, s'alignent sur la paroi des tubes séminifères. Tout au long du développement foetal*, et jusqu'avant la puberté, les spermatogonies se divisent par mitose, pour donner naissance à d'autres spermatogonies. Ce n'est qu'**après la puberté** que les spermatogonies commencent le processus de la spermatogenèse qui aboutira à la production de spermatozoïdes mûrs. Dès que la spermatogenèse a commencé, elle se poursuit tout au long de la vie d'un homme.

b) Les **étapes de la spermatogenèse** sont présentées dans la figure 17-3.

(1) Le processus commence par la croissance des spermatogonies en cellules plus grandes appelées **spermatocytes primaires** (spermatocytes I)*.

(2) Lors de la première division méiotique, ou division réductionnelle (les chromosomes passant de 46 à 23)*, les spermatocytes I donnent naissance à deux **spermatocytes secondaires** (spermatocytes II) qui subissent la seconde division méiotique, ou division équationnelle (le stock chromosomique restant à 23)*, pour fournir quatre **spermatides**.

(3) Chacune des spermatides donnera un **spermatozoïde** fertile.

3. Contrôle hormonal. La spermatogenèse est régulée par des sécrétions venant de l'**hypophyse antérieure**.

a) L'**hormone lutéinisante (LH)** stimule les **cellules interstitielles de Leydig** (d'où, chez le mâle, sa dénomination plus appropriée d'hormone stimulant les cellules interstitielles ou **ICSH**)* afin qu'elles produisent de la **testostérone** qui, ensuite, favorise la spermatogenèse.

b) Le bon déroulement de la spermatogenèse est facilité par l'**hormone folliculo-stimulante (FSH)** et l'**hormone de croissance (GH)**. Le tableau 17-1 et le chapitre 9 donnent un résumé concernant les hormones reproductrices mâles.

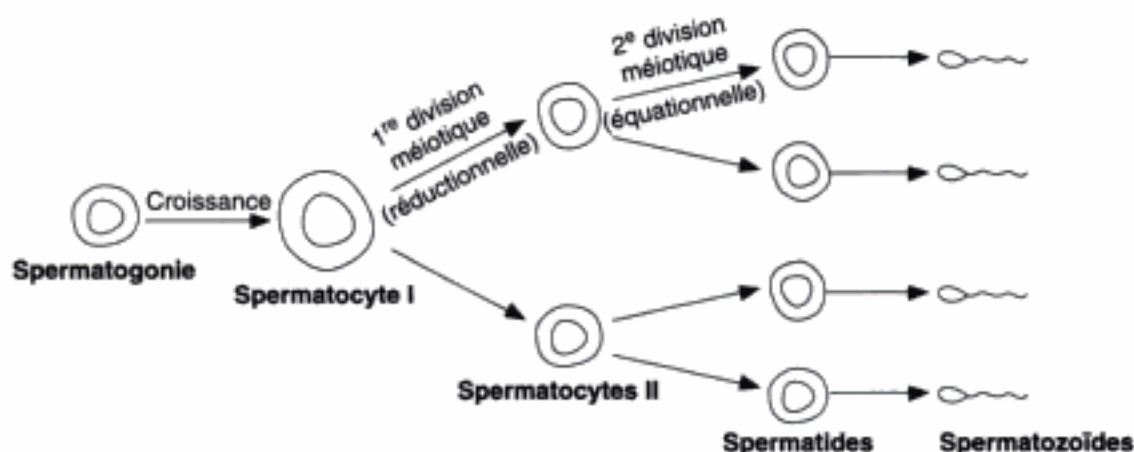


Figure 17.3 La spermatogenèse

Tableau 17.1 Les hormones reproductrices mâles

Glande endocrine et hormones	Site d'action	Activités contrôlées
Hypophyse antérieure		
Hormone folliculo-stimulante (FSH)	Testicules	Stimule le développement des tubes séminifères et le déroulement de la spermatogenèse
Hormone lutéinisante (LH) ou stimulant les cellules interstitielles (ICSH)	Testicules	Stimule la libération de testostérone par les cellules interstitielles de Leydig
Testicules		
Testostérone	Général	Avant la naissance : développement des organes sexuels primaires et descente des testicules dans le scrotum À la puberté : démarrage de la croissance ; développement des structures reproductrices ; apparition des caractères sexuels secondaires (e.g., pilosité pubienne et axillaires, voix plus grave) Chez l'adulte : maintien des caractères sexuels secondaires ; spermatogenèse

2. Le système reproducteur féminin

A. Organes génitaux et gonades

L'anatomie du système reproducteur féminin est représentée dans la figure 17-4.

1. La fonction du système reproducteur féminin est double :

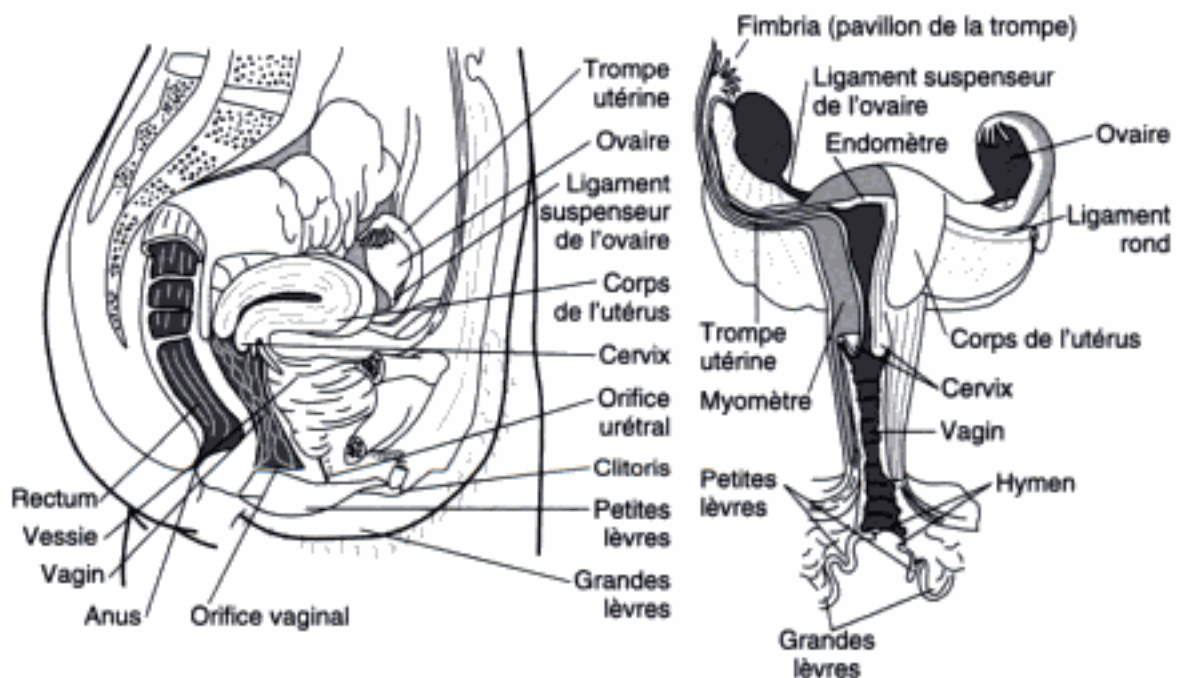


Figure 17.4 Anatomie du système reproducteur féminin

(Reproduite avec la permission de C.A. Ville, P.E. Solomon, P.W. Davis : *Biology*. Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 936).

- a) produire des ovocytes fertiles
- b) fournir un environnement susceptible de permettre un développement embryonnaire, puis fœtal (après le 3^e mois)*, si l'ovocyte est fécondé.

2. Le **processus de la fécondation** est le suivant : lors du rapport sexuel, le pénis de l'homme est introduit dans le **vagin** de la femme. A l'éjaculation, les spermatozoïdes traversent le **cervix** (le col de l'utérus)* et gagnent l'**utérus** pour atteindre finalement les **trompes de Fallope** (trompes utérines)* ou **oviductes**. Dans la plupart des cas, la fécondation a lieu dans le segment distal de la trompe de Fallope, à proximité de l'ovaire.

B. Ovogenèse

Le tableau 17-2 compare l'ovogenèse à la spermatogenèse.

1. Développement des ovocytes

- a) **Gamètes femelles. L'ovocyte** commence son développement dans l'ovaire à partir d'**ovogonies** immatures (figure 17-5). Au début du développement fœtal, les ovogonies se divisent par mitoses pour produire encore plus d'ovogonies qui, toutes, sont diploïdes. Vers le troisième mois de la vie fœtale, les ovogonies commencent à se développer en ovocytes primaires (ovocytes I)* en démarrant une méiose. Cependant, la méiose ne se termine pas ; elle s'arrête en prophase de la 1^{re} division méiotique jusqu'à l'ovulation.

Tableau 17.2 Comparaison spermatogenèse – ovogenèse

	Spermatogenèse	Ovogenèse
Méiose	Continue	Arrêtée en 1 ^{re} division méiotique jusqu'à l'ovulation ; la 2 ^e division méiotique ne se produit que s'il y a fécondation
Durée	Tout au long de la vie	Le nombre maximum est acquis à la naissance
Produits de la méiose	Quatre spermatozoïdes fertiles	Un ovule à maturité et jusqu'à trois globules polaires non viables.
Division du cytoplasme	Répartition égale	Inégale (un gros ovule et de petits globules polaires)
Lieu de développement	Entièrement dans les testicules	La 1 ^{re} division méiotique se déroule dans l'ovaire, la 2 ^e division méiotique à l'endroit où a lieu la fécondation
Hormones	FSH et GH : maturation des spermatozoïdes LH (= ICSH)* : stimulation des cellules de Leydig pour produire de la testostérone	FSH : stimule les cellules folliculaires afin qu'elles produisent des œstrogènes LH : stimule le corps jaune pour produire de la progestérone

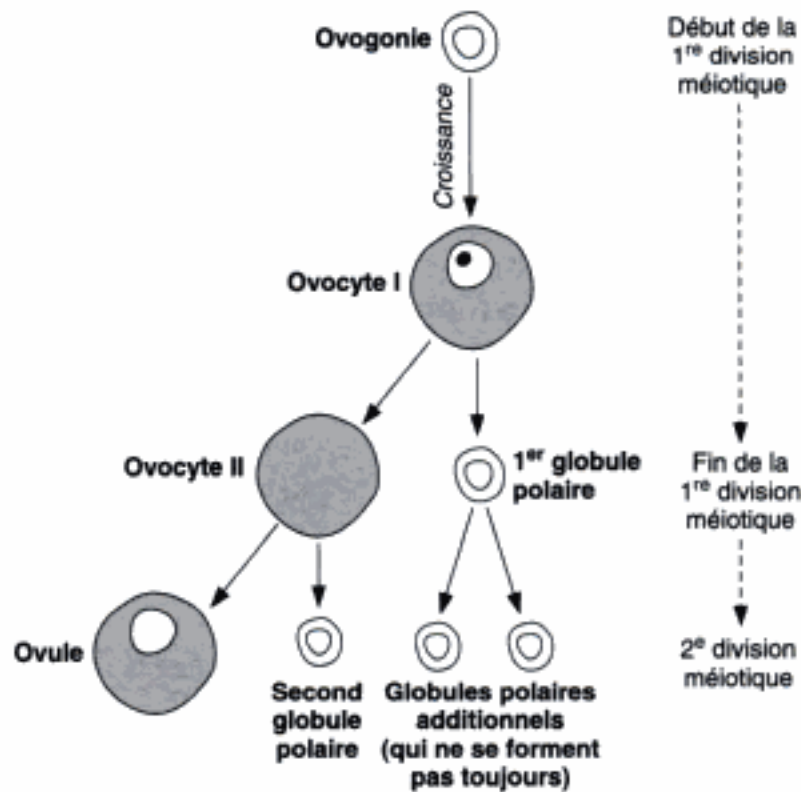


Figure 17.5 L'ovogenèse

- b) **Ménarche.** Le début de l'ovulation, au démarrage de la puberté, est appelé **ménarche** (1^{res} règles)*. Jusqu'à ce moment, chez la femme, aucun ovocyte n'est fertile.
- (1) À la naissance, une fillette possède approximativement 400 000 ovocytes I qui tous attendent l'achèvement de la 1^{re} division de la méiose.
- (2) Une fraction seulement de ces ovocytes I survivront jusqu'à la puberté, et un bien plus petit nombre encore (environ 400) deviendront des ovules
- c) **Ovulation.** L'ovocyte I, appelé à devenir ovule, reprend la 1^{re} division méiotique, formant un **ovocyte secondaire** (ovocyte II)* et le **premier globule polaire**. À l'ovulation, l'ovocyte II est libéré de l'ovaire dans la cavité abdominale. Il est alors recueilli par les *fimbriae* (franges de la trompe de l'oviducte) qui le conduisent à l'intérieur de l'oviducte.
- d) **Fécondation.** L'achèvement de la 2^e division méiotique ne se réalisera que si l'ovocyte II est fécondé. Les produits de la 2^e division méiotique sont l'**ovule**, arrivé à maturité, et un **second globule**

polaire. Au moment où l'ovule atteint sa maturité, il est déjà fécondé : c'est, pratiquement, un **œuf diploïde**.

2. Division du cytoplasme. Lors de l'ovogenèse, le cytoplasme se répartit de façon inégale. La majeure partie du cytoplasme d'une ovogonie n'est finalement transférée qu'à un des produits issus de la méiose, l'ovule arrivé à maturité. Les autres produits, les globules polaires, ne contiennent presque rien, mais possèdent un noyau. Cette **division inégale du cytoplasme** assure, à l'ovule à maturité, une quantité suffisante de cytoplasme et de protéines qui permettront à l'œuf de commencer son développement et de survivre.

3. Contrôle hormonal. Les ovaires et l'hypophyse s'influencent réciproquement (tableau 17-3). Se reporter au chapitre 9 pour une revue des glandes endocrines, de leurs hormones, et des activités qu'elles contrôlent.

a) Durant l'ovogenèse, les cellules qui entourent l'ovocyte en développement **aident au processus de maturation** et forment une structure sphérique appelée **follicule**.

(1) Le follicule continue à croître sous l'influence de la FSH libérée par l'hypophyse antérieure. De plus, la FSH **stimule la production d'œstrogènes par les cellules folliculaires**.

Tableau 17.3 Hormones reproductrices femelles

Glandes endocrines et hormones	Site d'action	Activités contrôlées
Hypophyse antérieure		
Hormone folliculo-stimulante (FSH)	Ovaire	Stimule le développement des follicules ; avec la LH, stimule l'ovulation et la sécrétion des œstrogènes
Hormone lutéinisante (LH)	Ovaire	Stimule l'ovulation et le développement du corps jaune (y compris la libération de progestérone)
Prolactine (PRL)	Glandes mammaires	Lactation
Ovaire		
Œstrogènes	Général	Puberté : démarrage de la croissance ; développement des caractères sexuels secondaires (e.g., pilosité pubienne et axillaires, développement des glandes mammaires) Adulte : maintien des caractères sexuels secondaires ; ovogenèse
	Appareil reproducteur	À chaque cycle menstruel, préparation de l'endomètre ; rendent le mucus cervical plus alcalin et plus fluide
Progestérone	Utérus	Maintient l'endomètre pour l'implantation puis la grossesse
	Glandes mammaires	Stimule le développement des glandes mammaires

(2) Lorsque le **taux d'œstrogènes augmente**, cette hormone commence à inhiber la libération supplémentaire de FSH

b) L'**ovulation** s'effectue avec l'aide de la **LH**. Après l'ovulation, les cellules du follicule donnent naissance à une structure appelée **corps jaune**. La LH stimule le corps jaune pour qu'il produise la **progestérone**.

C. Le cycle menstruel

Le cycle menstruel dure approximativement 28 jours. Il se produit de la ménarche à la ménopause. Il peut se diviser en quatre phases (figure 17-6).

1. **Première phase : la menstruation (du 1^{er} au 5^e jour)**. Le maintien de la muqueuse utérine dépend de la présence continue de progestérone. Initialement, la progestérone est produite par le corps jaune sous l'influence de la LH. Cependant, la durée de vie du corps jaune est de 10 jours environ et, s'il n'y a pas implantation d'un œuf, le

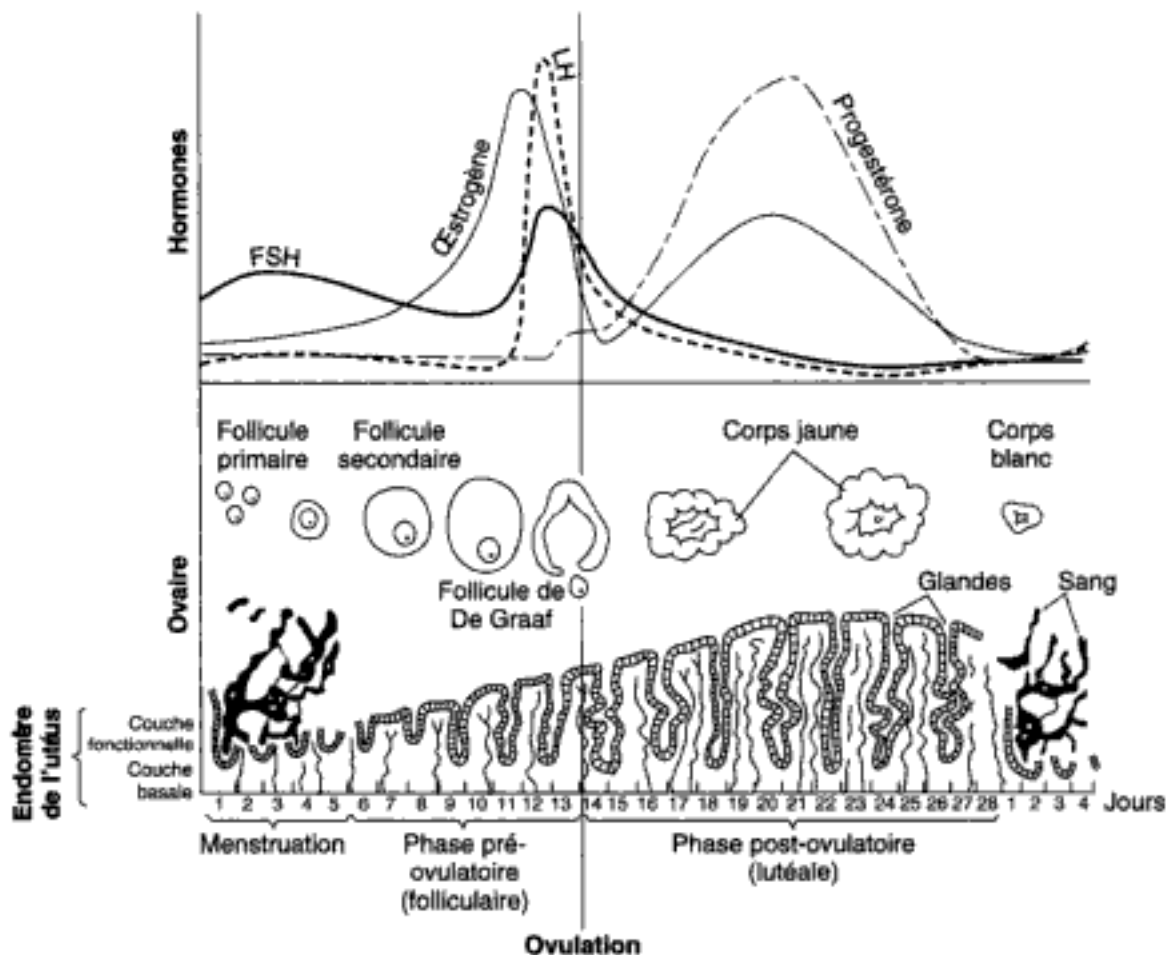


Figure 17.6 Le cycle menstruel

(Reproduit avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*. Philadelphia, Sanders College Publishing, 1985, p 939).

corps jaune régresse. Cet événement coïncide avec une diminution de la concentration de progestérone, ce qui induit l'élimination de la muqueuse utérine et provoque le saignement caractéristique.

2. Deuxième phase : la phase folliculaire, ou préovulatoire (du 6^e au 13^e jour). Un ovocyte en cours de maturation est entouré par une masse croissante de cellules folliculaires qui libèrent des œstrogènes sous l'influence de la FSH. Les œstrogènes aident à préparer la muqueuse utérine à une fécondation suivie d'une implantation (nidation)*. Normalement, lorsque les taux d'œstrogènes et de progestérone sont élevés, les sécrétions de FSH et de LH sont supprimées. Cependant, lors de la menstruation, les deux hormones ovariennes disparaissent brusquement, supprimant le rétrocontrôle négatif qu'elles exerçaient sur l'hypophyse antérieure et provoquant une élévation de la FSH et de la LH au début de la phase folliculaire. Lorsque les cellules folliculaires commencent à produire des œstrogènes, le rétrocontrôle négatif est rétabli, entraînant un déclin des taux de FSH et de LH vers la fin de la phase folliculaire.

3. Troisième phase : l'ovulation (14^e jour). La soudaine petite hausse d'œstrogènes, près de la fin de la phase folliculaire, provoque une élévation subite de la libération de FSH et de LH. Des concentrations plasmatiques élevées d'œstrogènes semblent soit suspendre le rétrocontrôle négatif, soit induire une rétroaction positive sur FSH et LH. Quel que soit le mécanisme, la hausse subite des FSH/LH provoque la rupture du follicule et la libération de l'ovocyte II en développement : c'est l'ovulation.

4. Quatrième phase : la phase lutéale, ou postovulatoire (du 15^e au 28^e jour). Dès que l'ovocyte est libéré du follicule, les cellules folliculaires restantes sont transformées en corps jaune sous l'influence de la LH. Le corps jaune commence alors la production de progestérone et d'œstrogènes, toujours grâce à la LH.

a) La progestérone continue la préparation de l'utérus pour la fécondation et l'implantation. Elle favorise le développement des glandes mammaires et, en association avec les œstrogènes, elle interdit toute ovulation supplémentaire en rétablissant le rétrocontrôle négatif sur FSH et LH.

b) Le second pic d'œstrogènes résulte de leur production simultanée par le corps jaune et la muqueuse utérine en cours de maturation. Sous l'influence des œstrogènes et de la progestérone, la muqueuse utérine continue à proliférer, développant de nouveaux vaisseaux sanguins et de nouvelles glandes. Si la fécondation n'a pas lieu, le corps jaune régresse et le cycle se répète.

D. Grossesse

1. Le placenta

a) Structure. Après environ 7 jours de développement embryonnaire, l'**embryon commence à s'implanter** dans l'endomètre de l'utérus. À cet instant, le placenta humain est constitué de tissus fœtaux (trophoblaste en développement et villosités choriales) baignant dans des lacunes sanguines utérines : ce type de placenta est dit hémochorial*.

b) Fonctions

(1) La stimulation du placenta par les œstrogènes et la progestérone favorise **la vascularisation, le développement glandulaire, l'activité sécrétrice, l'accumulation de liquide et la prolifération de l'endomètre.**

(2) Le placenta est l'**organe d'échanges entre le fœtus et la mère.** Il assure :

- (a) l'apport des nutriments et de l'oxygène au fœtus
- (b) l'élimination des produits de déchets de la circulation fœtale
- (c) en tant qu'organe endocrine, la production d'œstrogènes, de progestérone, et de gonadotrophine chorionique humaine (GCh)

2. La gonadotrophine chorionique humaine. La GCh joue un rôle clé lors de la grossesse car elle maintient le corps jaune au-delà de sa durée de vie normale de 10 jours. Conséquence, la production de progestérone continue, empêchant l'élimination de l'endomètre et l'ovulation suivante, deux événements qui seraient préjudiciables au fœtus en développement. Aux environs du second mois de la grossesse, le placenta est capable de produire de la progestérone en quantités suffisantes, si bien qu'une boucle de rétroaction positive s'établit, assurant l'entretien adéquat du placenta tout au long de la gestation. L'excès de GCh est excrété dans les urines de la mère et cette présence de GCh dans les urines maternelles est à la base de la plupart des tests de grossesse.

3. Membranes fœtales. Quatre membranes entourent le fœtus. Toutefois, deux seulement contribuent aux structures fœtales. Ce sont le sac vitellin et l'allantoïde. (figure 17-7).

a) L'amnios est la membrane la plus proche du fœtus. Il crée une cavité remplie de liquide (i.e., la cavité amniotique) autour de l'embryon puis du fœtus en développement. Le liquide provient de la circulation maternelle et des produits d'excrétion du fœtus. La cavité amniotique assure plusieurs fonctions, elle

- (1) absorbe les chocs
- (2) permet les mouvements du fœtus et sa croissance

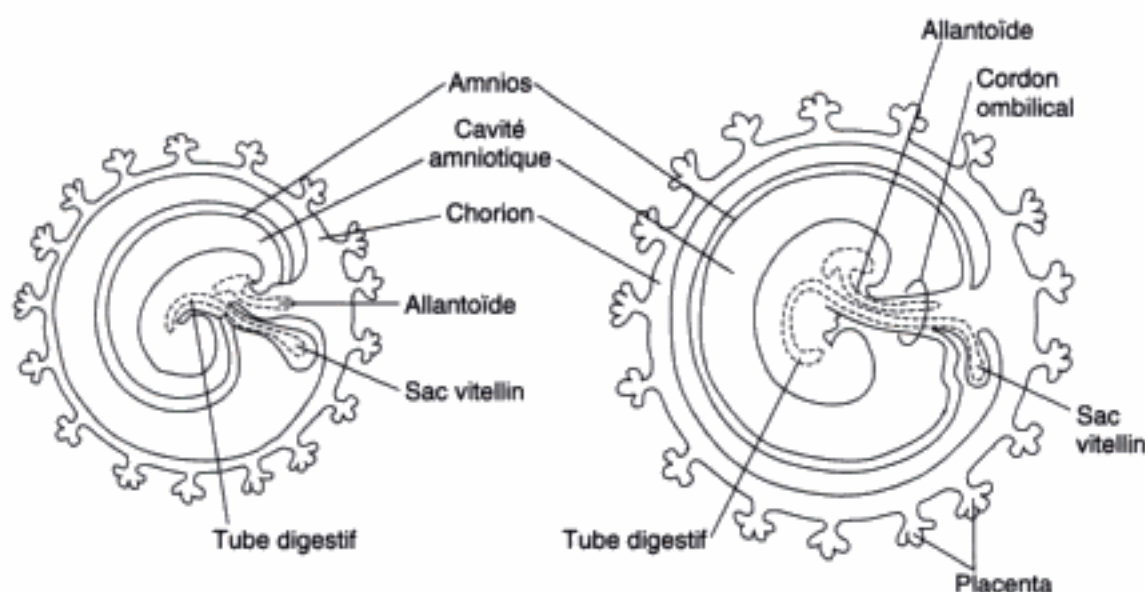


Figure 17.7 Structure des membranes fœtales

(Reproduite avec la permission de C.A. Ville, E.P. Solomon, P.W. Davis : *Biology*. Philadelphia, Saunders College Publishing, 1985, p 965).

- (3) empêche l'adhérence de l'amnios au fœtus
- (4) régule la température
- (5) protège le fœtus au cours de la naissance
- b) Le **chorion** est la contribution fœtale au placenta
- c) Le **sac vitellin** est relié au cordon ombilical à l'intérieur de la cavité amniotique. Ses fonctions comprennent :
 - (1) le développement initial des éléments figurés du sang
 - (2) la formation des cellules germinales
 - (3) le transfert des nutriments avant la formation d'un placenta fonctionnel
 - (4) la fourniture de dérivés endodermiques pour le tractus gastro-intestinal et le système respiratoire
- d) L'**allantoïde** participe aux fonctions suivantes :
 - (1) la formation des éléments figurés du sang
 - (2) la connexion entre la vessie et le cordon ombilical
 - (3) la formation de l'artère et de la veine ombilicales

Hidden page

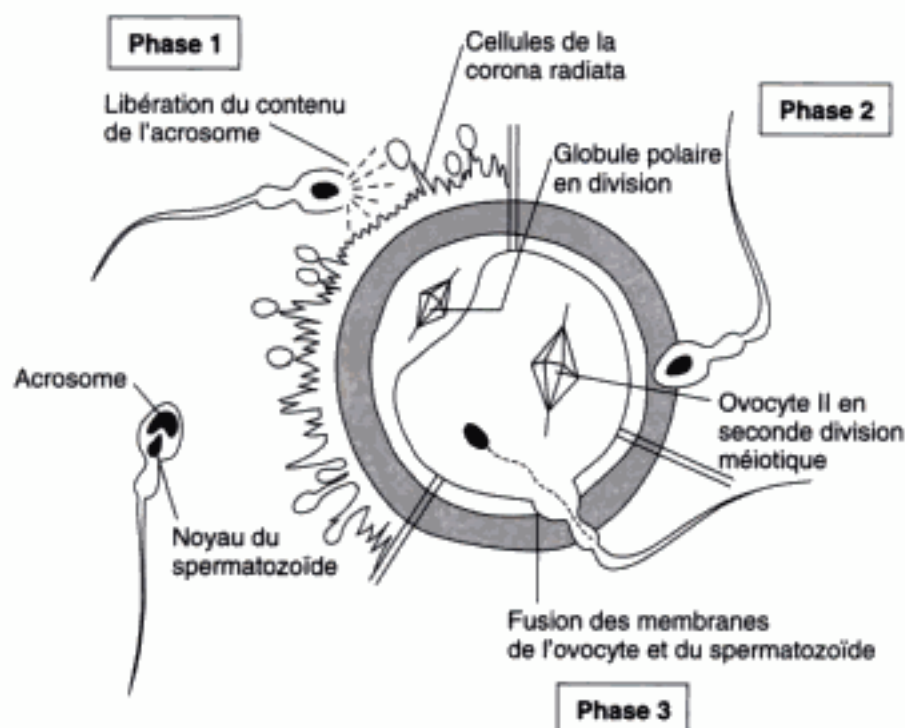


Figure 18.1 Phases de pénétration de l'ovocyte

[3] Il est essentiel que l'activation ait lieu très près de l'ovocyte car, dès que les spermatozoïdes ont été activés, leur viabilité est grandement réduite.

3. Fusion des membranes et pronuclei

a) **Fusion.** Dès que le spermatozoïde a pénétré dans la corona radiata, il entre en contact avec la **zone pellucide**, membrane protectrice entourant l'ovocyte, et stimule la réaction de cette zone. Après avoir traversé la zone pellucide, **la membrane plasmique du spermatozoïde fusionne avec celle de l'ovocyte** (voir figure 18-1).

b) **Pronuclei mâle et femelle.** La fusion stimule l'achèvement de la 2^e division méiotique (voir chapitre 17) et permet l'entrée et la formation du **pronucléus mâle** dans le cytoplasme du zygote (œuf) nouvellement formé (figure 18-2). Lorsque le pronucléus mâle et le **pronucléus femelle** entrent en contact, leurs membranes nucléaires se brisent, leurs chromosomes se mélangent pour aboutir à un noyau diploïde. Ceci termine le processus de fécondation.

4. **Avantages du grand nombre de spermatozoïdes.** Le mouvement des spermatozoïdes n'est pas dirigé, si bien que leur grand nombre rend plus probable le contact de quelques-uns avec l'ovocyte. Le pH acide de l'utérus et l'élimination par phagocytose diminuent fortement le nombre des spermatozoïdes. De nombreux spermatozoïdes peuvent

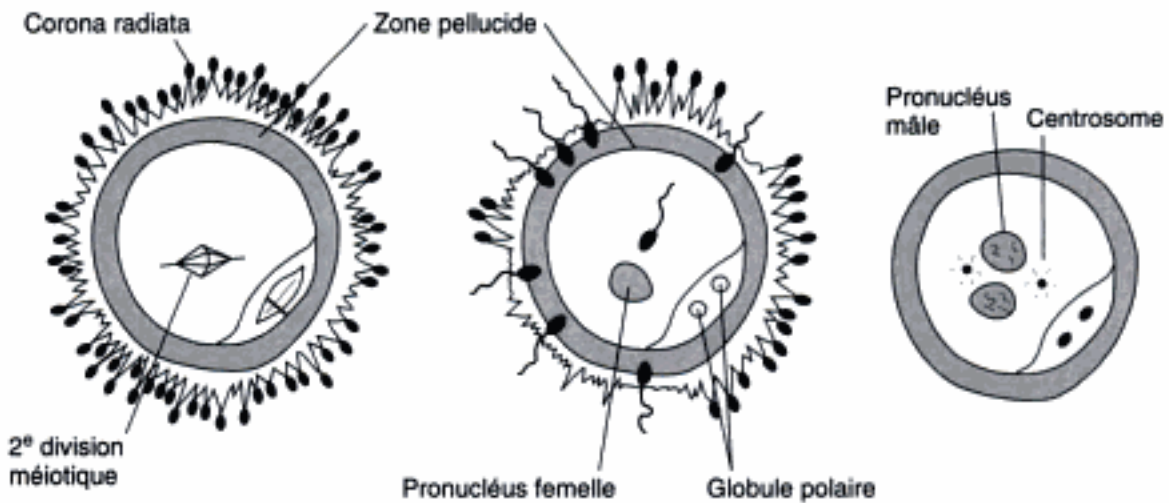


Figure 18.2 Formation des pronuclei mâle et femelle

œuvrer de façon coordonnée pour rompre et traverser la corona radiata.

5. Barrière à la polyspermie. La fusion d'un ovocyte avec un spermatozoïde entraîne la création d'un état génétique diploïde. Cependant, la pénétration de nombreux spermatozoïdes dans l'ovocyte pourrait entraîner une polyploïdie. La polyspermie entraîne un nombre excessif de chromosomes et cette situation est incompatible avec la vie. Plusieurs obstacles s'opposent à la pénétration de nombreux spermatozoïdes.

- a) **Charge négative.** La pénétration du spermatozoïde provoque une **hyperpolarisation de la membrane de l'œuf**. Cette charge négative accrue empêche la fixation d'autres spermatozoïdes.
- b) **Réaction corticale.** L'hyperpolarisation mobilise du calcium et ceci entraîne la **fusion de granules corticaux**, présents dans le cytoplasme de l'œuf, avec la membrane plasmique.
- c) **Réaction de la zone pellucide.** La réaction corticale **libère des enzymes qui modifient la zone pellucide** : ceci diminue la pénétration des spermatozoïdes suivants. Des glycoprotéines fortement acides sont libérées avec ces enzymes. Ces protéines se polymérisent à la surface de la zone pellucide et forment un revêtement protecteur autour de l'œuf.

B. Le clivage (la segmentation)* correspond à une série rapide de divisions mitotiques. Après la fécondation, l'œuf est le siège d'une très forte augmentation du métabolisme, de la consommation d'oxygène et de la synthèse protéique qui, tous, le préparent au clivage. Au cours de la segmentation, l'embryon progresse dans l'oviducte.

Hidden page

D. La gastrulation se produit au cours de la troisième semaine du développement embryonnaire et crée un **disque embryonnaire* trilaminaire** constitué de trois couches germinales : l'**endoderme**, le **mésoderme** et l'**ectoderme**.

1. Avant la gastrulation, des cellules de l'embryoblaste migrent pour former deux plans parallèles de cellules, l'**hypoblaste** et l'**épiblaste** (figure 18-4). Lorsque le **disque bilaminaire** est formé, la cavité amniotique et le sac vitellin primitif sont formés ensemble (voir chapitre 17).
2. La gastrulation commence par une **invagination de l'épiblaste**, d'un bout à l'autre de sa surface supérieure, ce qui donne naissance à la **ligne primitive** (figure 18-5).

a) **Invagination.** Lorsque l'épiblaste s'invagine, certaines de ses cellules se différencient, puis migrent entre l'hypoblaste et l'épiblaste.

b) **Formation du disque embryonnaire trilaminaire.** Certaines de ces cellules différenciées déplacent l'hypoblaste pour former l'endoderme embryonnaire et d'autres viennent se placer entre l'endoderme nouvellement formé et l'épiblaste pour former le mésoderme embryonnaire.

Le restant de l'épiblaste indifférencié est attribué à l'ectoderme, et le disque embryonnaire trilaminaire est terminé.

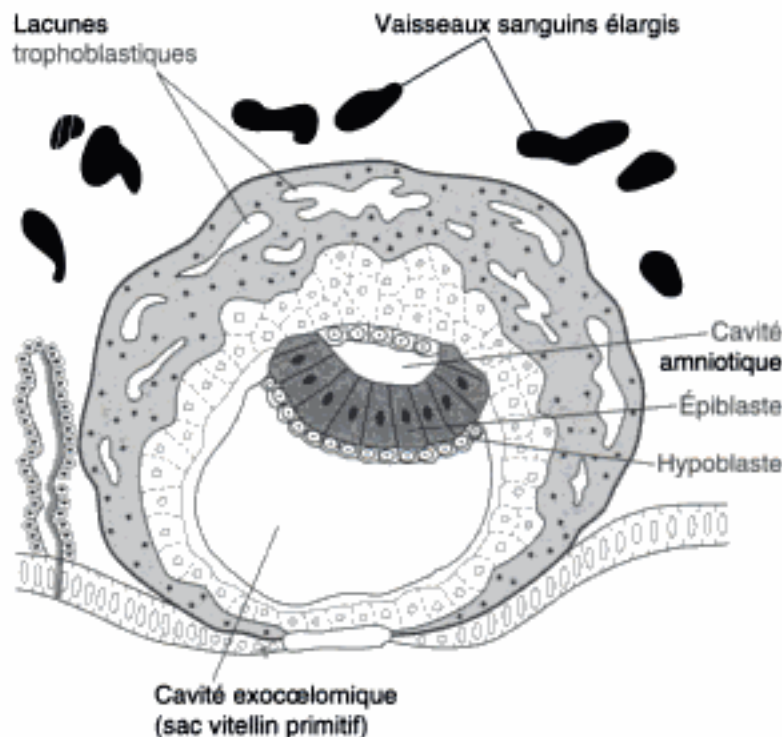


Figure 18.4 Le disque bilaminaire

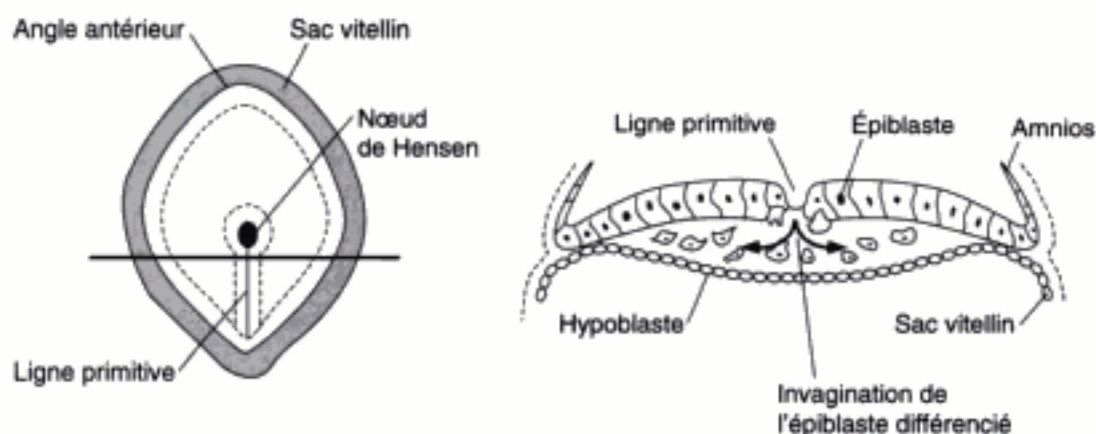


Figure 18.5 Formation du disque embryonnaire trilaminaire

c) Différenciation. Les trois couches germinales du disque embryonnaire trilaminaire donnent finalement naissance aux caractéristiques anatomiques du corps (tableau 18-1).

E. La neurulation se rapporte à la formation de la plaque neurale et au développement du tube neural. L'**encéphale** et la **moelle épinière**, qui proviennent de ces structures embryonnaires, sont parmi les premiers organes à se développer.

1. La notochorde. Au cours de la seconde semaine du développement embryonnaire, les cellules mésodermiques se différencient et forment une **baguette cylindrique sur toute la longueur de l'embryon** : la notochorde. Celle-ci sert d'axe squelettique flexible pour tous les chordés. Chez les vertébrés, la notochorde est remplacée, plus tard, par une colonne vertébrale osseuse, et ses reliquats deviennent parties intégrantes des disques intervertébraux.

Tableau 18.1 Dérivés des couches germinales

Endoderme	Mésoderme	Ectoderme
Bordures des organes internes et des canaux (respiratoires, gastro-intestinaux, urinaires, trompe d'Eustache, cavité tympanique)	Cartilage et os	Système nerveux central et périphérique
Parenchyme :	Muscles (squelettique, cardiaque, lisse)	Épiderme et structures associées (e.g., poils, ongles)
du foie	Derme et tissu conjonctif	Cornée et cristallin de l'œil
des amygdales	Éléments figurés du sang	Oreille interne
de la thyroïde	Systèmes cardio-vasculaire, excréteur, reproducteur et lymphatique	Émail des dents
du thymus	Organes :	Neuroépithélium olfactif nasal
du pancréas	Corticosurrénales	Glandes mammaires et hypophysaire
des parathyroïdes	Gonades et leurs canaux	Médullosurrénales
	Rate	
	Reins	

2. La **plaque neurale**. Des cellules de la notochorde sécrètent des facteurs qui incitent l'ectoderme sus-jacent à s'épaissir et à former la plaque neurale (figure 18-6). La plaque neurale s'invagine pour devenir la **gouttière neurale** et finalement le **tube neural** qui, plus tard, donnera l'encéphale et la moelle épinière.

2. Mécanismes du développement

Le développement embryonnaire est une séquence d'événements hautement complexe qui doit être parfaitement bien orchestrée. Il faut une très bonne communication entre les cellules pour que le développement des tissus, des organes et des systèmes soit possible. Certains concepts généraux, concernant le développement, sont discutés dans les paragraphes suivants.

- A. La différenciation** est le processus par lequel des cellules, ou des tissus immatures, se développent en cellules ou tissus adultes ayant des fonctions spécialisées. La différenciation est accompagnée par l'expression de protéines spécifiques et par des modifications du cytosquelette, si bien qu'il y a création de structures qui assistent les fonctions exigées par les cellules adultes spécialisées.
- B. La détermination** est le processus qui se produit lorsque des cellules se développent et que leur destinée devient de plus en plus restreinte. Par

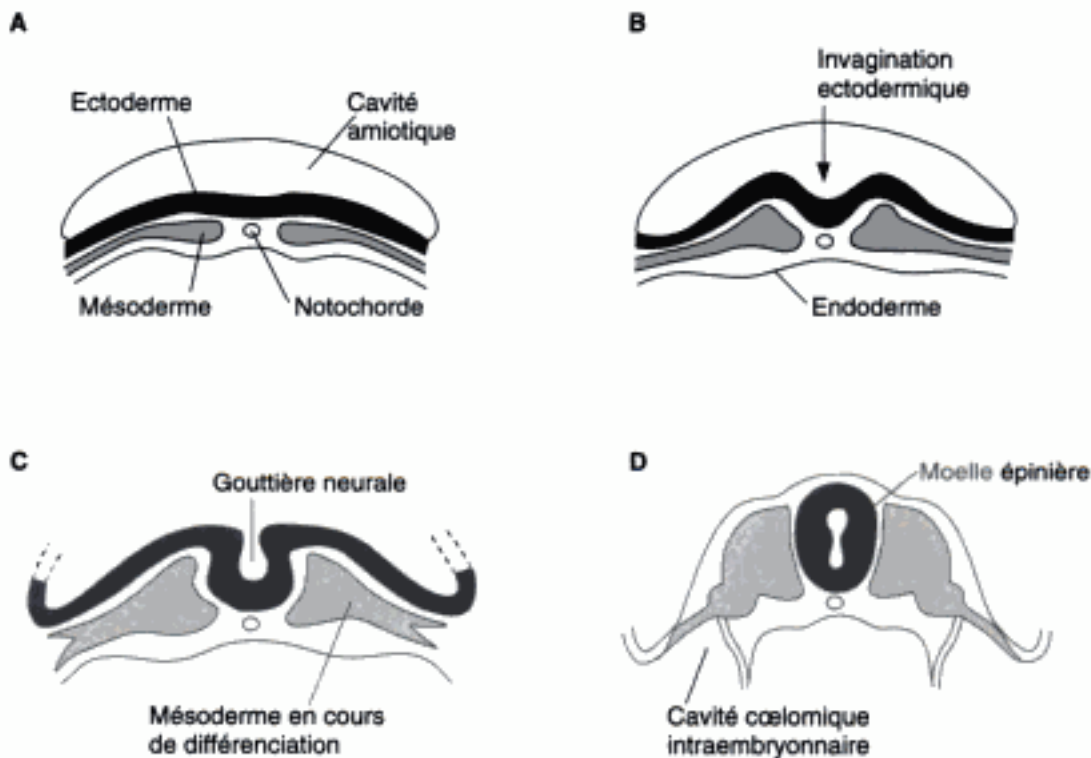


Figure 18.6 Formation du tube neural



Figure 18.7 Le processus de la détermination

exemple, un œuf unicellulaire peut se développer en tous les types de cellules eucaryotes spécialisées (figure 18-7). Lorsque les trois couches germinales sont formées, la destinée d'une cellule, dans une couche donnée, s'est réduite, bien que de nombreuses possibilités s'offrent encore à elle. Les cellules continuent à se différencier jusqu'à ce qu'une seule voie de différenciation soit possible.

- C. L'induction** est le processus par lequel un médiateur chimique, libéré par une région de l'embryon, provoque un effet morphogénique spécifique dans une autre région en induisant une voie de développement particulière. Par exemple, le derme de la peau, qui dérive du mésoderme, libère une substance qui provoque la différenciation de l'ectoderme sus-jacent en épiderme. La conséquence d'une induction simultanée de cellules voisines réside dans le fait que des tissus, et finalement des organes, peuvent être formés.

Hidden page

19

Génétique

1. Introduction

A. Définitions de base

1. La **génétique** est l'étude de l'information héréditaire des organismes.
2. Un **gène** est une unité d'information génétique codée par l'ADN (voir chapitre 4).
 - a) Le **génotype** d'un organisme est l'ensemble de ses caractères génétiques, comprenant l'information contenue dans tous ses gènes. Les caractères **potentiels**, ou traits de caractère, d'un organisme sont codés par son génotype.
 - b) Le **phénotype** d'un organisme correspond à ses caractères visibles ou **exprimés**. Un phénotype spécifique résulte de l'expression de gènes spécifiques.
3. Les gènes sont portés par les **chromosomes** qui sont des structures distinctes constituées d'ADN et de protéines associées, de type histone. La position d'un gène sur un chromosome est appelée **locus**.
4. Une cellule **diploïde** contient deux jeux de chromosomes, chacun d'entre eux étant hérité de l'un des parents. Chaque chromosome est apparié à un autre chromosome. Les deux chromosomes d'une paire sont appelés **chromosomes homologues** ou **homologues**.
 - a) Les chromosomes homologues portent des gènes pour le(s) même(s) caractère(s) à des loci correspondants. Par conséquent, des homologues sont fonctionnellement similaires. Cependant, des homologues ne possèdent pas nécessairement une information génétique identique.
 - b) Si n est le nombre de chromosomes fonctionnellement différents, les cellules diploïdes ont alors $2n$ chromosomes. Chaque espèce a un

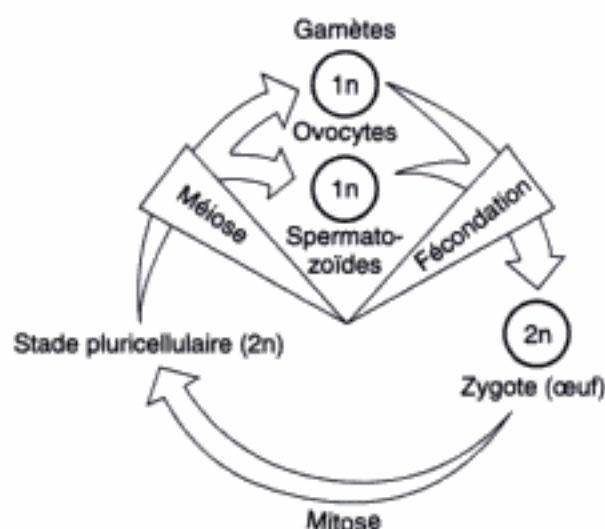


Figure 19.1 La reproduction sexuée

nombre diploïde caractéristique de chromosomes : les **humains en ont 46** ($2n = 46$), le chien en a 78, la drosophile en a 8.

- c) Les homologues se ressemblent dans le **caryotype** d'un organisme, c'est-à-dire, dans une préparation colorée de tous les chromosomes. Dans un caryotype, les différents chromosomes peuvent se distinguer par la taille, la localisation du centromère et la position de bandes sombres et claires.

5. Les **cellules somatiques** sont les cellules diploïdes qui composent l'organisme. Toutes les cellules somatiques d'un organisme ont le même génotype.

B. Reproduction sexuée (figure 19-1). Les gamètes (cellules germinales) sont produits par des organismes diploïdes. Une cellule germinale, haploïde, possède la moitié du nombre diploïde de chromosomes. Les cellules germinales humaines ont 23 chromosomes ($2n = 46$; $1n = 23$), c'est-à-dire qu'elles possèdent un chromosome de chaque type.

1. La **lignée germinale** d'un organisme comprend les gamètes et les cellules qui leur donnent naissance. Dans une lignée germinale, les nouveaux gamètes sont produits par une suite de deux divisions cellulaires spéciales désignée sous le terme de **méiose***.
2. Dans la reproduction sexuée, **chaque parent donne un jeu d'homologues à son descendant**. La reproduction sexuée aboutit à des combinaisons uniques d'information génétique chez chaque descendant.

- a) Lors de la **fécondation**, le gamète du père (spermatozoïde) fusionne avec le gamète de la mère (ovocyte II) pour produire le **zygote** diploïde ou œuf fécondé.
- b) Le zygote croît par **divisions mitotiques**.

2. Mendel et les principes de l'hérédité

A. Hérédité mendélienne

Grégor Mendel fut le premier à proposer de nombreux principes fondamentaux de génétique. À la fin du dix-neuvième siècle, il reconnut l'existence d'unités d'information héréditaire correspondant à des caractères observables des organismes. Ce fut le premier concept du gène.

1. Mendel étudia l'hérédité des caractères chez le pois. Chez une plante, chaque caractère apparaît sous l'une des deux formes : par exemple, des graines jaunes ou vertes, des graines lisses ou ridées, des tiges courtes ou longues. Les abréviations suivantes sont utilisées en génétique mendélienne.

- a) **Génération parentale - P.** Chaque lignée parentale est de race pure, ce qui signifie qu'elle produit une descendance n'ayant qu'une des formes alternatives d'un caractère.

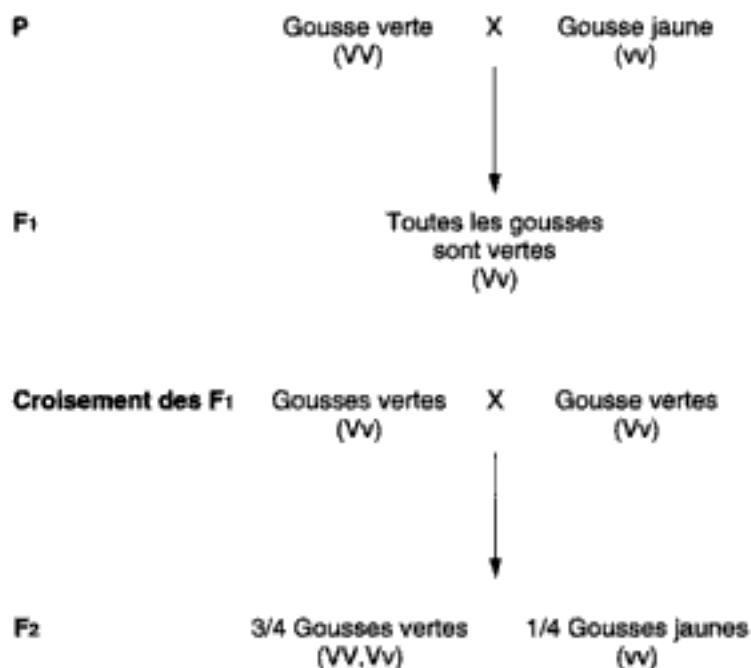


Figure 19.2 Croisement mendélien de deux lignées de race pure pour un trait de caractère différent (i.e., couleur). P = génération parentale ; F1 = première génération de descendants (filiale) ; F2 = seconde génération de descendants, obtenue en croisant deux plantes de F1.

- b) La **première génération de descendants - F1** (filial). Ces plantes sont croisées entre elles pour donner la génération F2.
 - c) La **seconde génération de descendants - F2**. Ces plantes sont obtenues en croisant deux plantes F1.
2. La **méthode de Mendel** fut de croiser deux lignées de race pure, ayant des formes différentes d'un même caractère (figure 19-2).
3. Les **conclusions de Mendel** sont les suivantes.
- a) L'information relative à un caractère (couleur de la gousse) est un facteur (gène) discret (cryptique), héréditaire.
 - b) Les gènes se rencontrent par paires appelés **allèles**. Les allèles sont des formes différentes d'un gène pour un caractère particulier.
 - c) Chez les organismes diploïdes, un **allèle dominant** d'un gène peut masquer l'expression phénotypique de l'**allèle récessif**. Pour le gène concernant la couleur de la gousse, **V** est l'allèle dominant (vert) ; **v** est l'allèle récessif (jaune).
 - (1) Les **plantes de la génération - P**, de race pure, **sont homozygotes** pour leurs allèles : **VV** (vert) et **vv** (jaune).
 - (2) Toutes les **plantes F1 sont des hybrides** : elles possèdent les deux allèles d'un gène particulier. Les plantes F1 sont **hétérozygotes** pour les deux allèles ; bien que **Vv** soit le génotype de F1, seul l'allèle dominant **V** apparaît dans le phénotype (vert).
 - d) Les deux allèles se séparent lorsqu'un hybride produit des gamètes. Cette **ségrégation** (séparation) est aléatoire, si bien que la moitié des gamètes reçoivent l'allèle **V** et l'autre moitié l'allèle **v**. C'est la **première loi de Mendel — la loi de la ségrégation aléatoire**.
 - e) Le croisement des F1 décrit ci-dessus est appelé **croisement monohybride** (monohybridisme = un caractère est séparé). Lors de la fécondation, chaque parent F1 fournit un gamète (contenant soit **V**, soit **v**) au descendant. La façon selon laquelle les gamètes sont combinés est un événement totalement aléatoire.
4. Les **génotypes des F2 peuvent être prévus** en utilisant la **méthode de l'échiquier de Punnett** (tableau 19-1). Les allèles apportés par le grain de pollen et l'oosphère sont placés, respectivement, au sommet et sur le côté gauche du tableau. Les descendants F2, résultant de chaque fécondation, sont placés dans chacune des cases constituées par l'intersection des bandes verticales et horizontales.
5. Le **génotype** de la plante à phénotype vert **peut être déterminé par un « test-cross »** (croisement-test = croisement effectué entre un individu dont on veut connaître le génotype et un individu birécessif)*.
- a) Si le génotype est **VV**, toute la descendance sera **Vv** (verte)
 - b) Si le génotype est **Vv**, la moitié de la descendance sera **Vv** (vert) et l'autre moitié sera **vv** (jaune).

Tableau 19.1 Probabilités des phénotypes en F₂, estimées en utilisant un échiquier (échiquier de croisement) de Punnett ; croisement monohybride (monohybridisme).

Oosphères F ₁	Grains de pollen F ₁	
	1/2V	1/2v
	1/2V	1/2v
	1/2V	1/2v
	1/4VV	1/4Vv
	1/2v	1/2V
	1/4vV	1/4vv

V = vert dominant, v = jaune récessif

F₁ : Vv (vert) x Vv

Génotypes F₂ : 3/4VV, 2/4Vv, 1/4vv [1 : 2 : 1]

Phénotypes F₂ : 3/4 de vert, 1/4 de jaune [3 : 1]

6. Ségrégation et fécondation sont, toutes deux, des événements aléatoires. Par conséquent, les **règles des probabilités** peuvent être utilisées pour prévoir les génotypes et les phénotypes dans les croisements mendéliens.

a) La **règle de multiplication** stipule que la probabilité, pour que deux événements puissent se produire, est égale au produit des probabilités de chaque événement indépendant. Par exemple, dans le croisement des F₁ (Vv x Vv), la probabilité pour qu'une plante F₂ ait des gousses jaunes peut être déterminée de la façon suivante :

- (1) Une plante aux gousses jaunes (vv) doit recevoir un allèle v de l'oosphère et du grain de pollen. La probabilité selon laquelle v puisse être dans l'oosphère est de 1/2. La probabilité pour que v soit dans le grain de pollen est de 1/2.
- (2) La probabilité pour que v soit dans l'oosphère et dans le grain de pollen est le produit des deux probabilités : $1/2 \times 1/2 = 1/4$. Par conséquent, 25% des plantes de F₂ auront des gousses jaunes.

b) La **règle de l'addition** stipule que la probabilité des deux événements est déterminée en additionnant les probabilités des événements alternatifs. Par exemple, dans le croisement des F₁, la probabilité pour qu'une plante de F₂ soit Vv peut être déterminée de la façon suivante :

- (1) La probabilité pour que V vienne de l'oosphère et v du grain de pollen est de $1/2 \times 1/2 = 1/4$.
- (2) La probabilité pour que v vienne de l'oosphère et V du grain de pollen est de $1/2 \times 1/2 = 1/4$.
- (3) La probabilité pour que ces deux événements se produisent est la somme des probabilités de chacun : $1/4 + 1/4 = 1/2$. Par conséquent, 50% des plantes de F₂ doivent être Vv

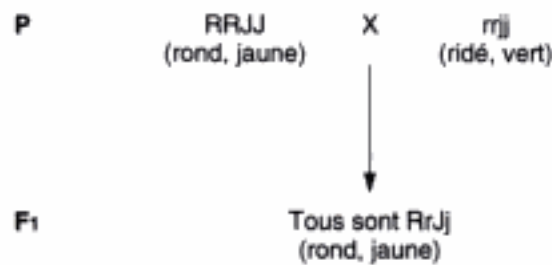


Figure 19.3 Croisement mendélien dihybride (dihybridisme) dans lequel deux caractères différents (i.e., couleur et forme) se séparent

J = jaune ; j = vert ; R = rond ; r = ridé.

B. Indépendance des caractères

La seconde loi de Mendel est la **loi de l'indépendance des caractères**. Cette loi stipule que les gènes correspondant à des caractères différents sont hérités (assortis) de façon indépendante les uns des autres. Mendel réalisa un **croisement dihybride** (dihybridisme) dans lequel deux caractères différents se sont séparés (Figure 19-3)

1. Les phénotypes de la progéniture F_2 s'adaptent à l'échiquier de Punnett pour une hérédité indépendante des gènes relatifs à la couleur et à la forme des graines (Tableau 19-2)
2. Comme pour le monohybridisme, chacun des caractères donne un rapport phénotypique de 3 : 1 (i.e., 12 ronds : 4 ridés ; 12 jaunes : 4 verts)

3. Génétique des populations

A. La génétique des populations s'intéresse aux **fréquences relatives des allèles dominants et récessifs** dans une population d'organismes qui se croisent entre eux.

1. Le **pool de gènes** est la somme de tous les génotypes d'une population à un moment donné.

Tableau 19.2 Prédiction des phénotypes de F_2 lors d'un croisement dihybride (dihybridisme)

		Grains de pollen F_1			
		RJ	Rj	rJ	rij
Oosphères F_1	RJ	$RRJJ$	$RRJj$	$RrJJ$	$RrJj$
	Rj	$RRJj$	$RRjj$	$RrJj$	$Rrij$
	rJ	$RrJJ$	$RrJj$	$rrJJ$	$rrJj$
	rij	$RrJj$	$Rrij$	$rrJj$	$rrjj$

R = rond dominant, r = ridé récessif, J = jaune dominant, j = vert récessif

Phénotypes de F_2 : 9/16 rond jaune, 3/16 rond vert, 3/16 ridé jaune, 1/16 ridé vert [9:3:3:1]

2. Une population est en **équilibre génétique** lorsque le pool de gènes reste constant d'une génération à la suivante. L'équilibre génétique n'est réalisé que dans les conditions « idéales » suivantes :

- a) La fécondation est complètement aléatoire.
- b) La population est très importante.
- c) Il n'y a pas de changement important du pool de gènes causé par mutations.
- d) La population est isolée (i.e., il n'y a ni arrivée ni départ)
- e) Tous les génotypes se reproduisent avec la même efficacité.

B. Le principe de Hardy-Weinberg stipule que, en cas d'équilibre génétique, les fréquences des allèles d'un pool de gènes restent constantes de génération en génération. La fréquence d'un allèle dans une population détermine la proportion des gamètes qui possèdent cet allèle. La probabilité aléatoire des combinaisons d'allèles aboutit à des fréquences prévisibles de génotypes dans la descendance.

1. Équation de Hardy-Weinberg. Les **fréquences de génotypes dans un pool de gènes** peuvent être calculées si les fréquences des allèles sont connues et vice versa.

- a) Pour les deux allèles A et a, p représente la fréquence de l'allèle dominant A et q celle de l'allèle récessif a.
- b) La **somme des fréquences des allèles** doit être égale à 100% des gènes, pour ce locus, dans la population : $p + q = 100\%$, ou $p + q = 1$. Si la fréquence d'un seul allèle est connue, celle de l'autre peut être obtenue par ces équations : $1 - p = q$ ou $1 - q = p$.
- c) Les **fréquences des génotypes** de la descendance peuvent être déterminées à partir des fréquences des allèles et de la probabilité de chaque combinaison d'allèles.
 - (1) La combinaison de deux gamètes contenant le même allèle se produit avec une probabilité de :
 - (a) $p \times p = p^2$, pour le génotype dominant homozygote (**AA**)
 - (b) $q \times q = q^2$, pour le génotype récessif homozygote (**aa**)
 - (2) La combinaison de gamètes contenant des allèles différents se produit avec une probabilité de : $(p \times q) + (q \times p) = 2pq$, car l'hétérozygote (**Aa**) peut être formé par chacune des deux voies.
- d) La **somme des fréquences des génotypes doit être égale à 100% (ou 1)** :
 - (1) $p^2 + 2pq + q^2 = 1$
 - (2) **AA + Aa + aa = 1**
- e) Les **fréquences des allèles** de cette génération **peuvent être déterminées à partir des fréquences des génotypes**.

- (1) Tous les gamètes provenant de l'homozygote **AA** et la moitié des gamètes provenant de l'hétérozygote **Aa** contiendront l'allèle *p*. Par conséquent, $p = \text{fréquence de AA} + 1/2 \text{ fréquence de Aa}$.
- (2) De même, $q = \text{fréquence de aa} + 1/2 \text{ fréquence de Aa}$

2. Un problème de Hardy-Weinberg

- a) Supposons que la fréquence de l'allèle **A** soit $p = 0,7$ et que celle de l'allèle **a** soit $q = 0,3$.
- b) À partir de l'équation $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, les **fréquences des génotypes** de la prochaine génération sont les suivantes :
- (1) **AA** = $0,7 \times 0,7 = 0,49$, ou 49%.
- (2) **aa** = $0,3 \times 0,3 = 0,09$, ou 9%
- (3) **Aa** = $2(0,7 \times 0,3) = 0,42$, ou 42%
- c) Les **fréquences des allèles** dans cette population sont les suivantes :
- (1) **A** = $0,49 + 1/2 (0,42) = 0,7$
- (2) **a** = $0,09 + 1/2 (0,42) = 0,3$
- d) Comme les fréquences des allèles restent constantes, on dit que cette population est en **équilibre de Hardy-Weinberg**.

3. **Application.** L'équation de Hardy-Weinberg s'applique aux **populations qui n'évoluent pas**. Si le pool de gènes d'une population change, les fréquences réelles dans la population ne correspondront plus à celles qui ont été pronostiquées par l'équation.

4. Méiose

- A. Le déroulement de la méiose** (figure 19-4). Un organisme diploïde ($2n$) produit des gamètes haploïdes ($1n$) grâce à la méiose, division spéciale, qui **réduit le nombre de chromosomes de moitié**. La méiose est nécessaire pour que deux gamètes produisent un œuf ayant un nombre diploïde de chromosomes.
1. La méiose implique **deux divisions séquentielles** — les divisions I et II de la méiose. La totalité du processus aboutit à quatre cellules filles haploïdes différentes : les gamètes ou les spores (tableau 19-3).
2. La **division I de la méiose** est une division réductionnelle dans laquelle le nombre de chromosomes est réduit de moitié. Dans cette division I, les chromosomes homologues sont appariés puis séparés.
- a) **Prophase I.** La première phase occupe approximativement 90% du temps de la méiose.
- (1) Les chromosomes homologues s'apparient par un processus appelé **synapsis** (appariement). Les gènes d'un homologue s'alignent côte à côte aux mêmes gènes de l'autre homologue. Un

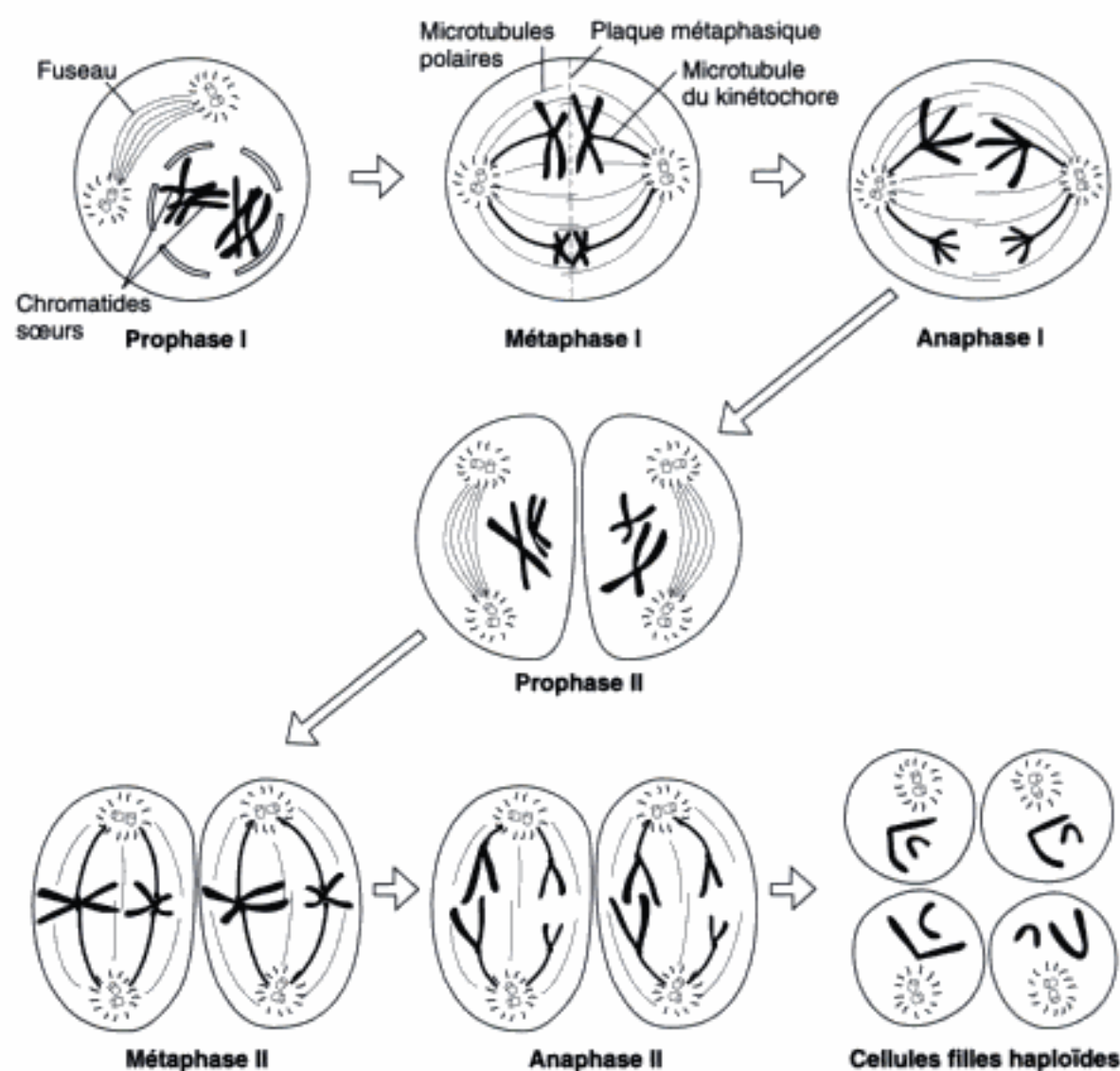


Figure 19.4 Le déroulement de la méiose

Tableau 19.3 Résumé de la méiose

Phases	Événements
Interphase I	Réplication des chromosomes, les chromatides sœurs restent attachées au centromère
Prophase I	Synapsis (appariement) des paires homologues, crossing-over et chiasmata, formation du fuseau
Métaphase I	Les paires homologues se disposent sur la plaque métaphasique (équatoriale), leurs centromères étant fixés aux fibres microtubulaires venant des pôles opposés
Anaphase I	Les paires de chromosomes homologues se séparent et se déplacent en direction des pôles opposés ; les centromères ne se clivent pas
Métaphase II	Les chromosomes, comprenant deux chromatides, se disposent sur la plaque métaphasique
Anaphase II	Les centromères se clivent ; les chromatides sœurs se séparent et se déplacent vers les pôles opposés

complexe de protéines se forme entre les chromosomes appariés. Quatre **chromatides**, les deux sœurs de chaque homologue, sont impliquées à ce stade.

(2) Les homologues appariés peuvent subir un **crossing-over** (point de rupture)* à plusieurs endroits. Lors de ce processus, les chromatides se rompent et des segments homologues sont échangés entre les chromosomes appariés. Les structures visibles, résultant de ces crossing-over, sont appelées des **chiasmata** (enjambements)*. Les chromosomes de chaque paire sont physiquement maintenus ensemble par leurs chiasmata tout au long des stades suivants de la prophase I.

(3) Le **fuseau méiotique** se met également en place au cours de la prophase I.

b) **Métaphase I.** À ce stade, les paires homologues de chromosomes s'alignent sur la plaque métaphasique (équatoriale). Les chromatides sœurs de chaque chromosome sont attachées au centromère. Les homologues appariés sont attachés aux pôles opposés et se répartissent de façon aléatoire.

c) **Anaphase I.** Les enjambements disparaissent. Les homologues se déplacent, centromères en avant, vers les pôles opposés (les chromatides sœurs de chaque chromosome restent appariés).

d) **Télophase I — cytokinèse — interphase II.** La cellule se divise en deux cellules, chacune contenant un nombre haploïde de chromosomes. L'interphase II, au cours de laquelle il n'y a pas réplication de l'ADN, dure très peu de temps.

3. La **division II de la méiose** est équationnelle. Dans cette division II, les chromatides sœurs se séparent l'une de l'autre (comme lors d'une mitose).

a) Durant la **prophase II**, le fuseau se développe.

b) En **métaphase II**, les chromosomes s'alignent sur la plaque métaphasique, les chromatides sœurs faisant face aux pôles opposés.

c) Dans l'**anaphase II — télophase II**, les chromatides sœurs se séparent et se déplacent, comme des chromosomes individuels, vers les pôles. Quatre cellules filles sont obtenues, chacune ayant un nombre haploïde de chromosomes.

B. Comparaison de la méiose et de la mitose (tableau 19-4). La mitose produit deux cellules filles qui sont génétiquement identiques à la cellule mère et entre elles. La méiose produit quatre cellules filles haploïdes qui diffèrent génétiquement de la cellule mère et entre elles.

C. Le rôle de la méiose dans la variabilité génétique

La méiose et la fécondation impliquent un tri et une recombinaison de chromosomes qui aboutissent à de nouvelles combinaisons de gènes dans

Tableau 19.4 Comparaison des événements de la 1^{re} division de la méiose et de la mitose

Phases	Première division de la méiose	Mitose
Prophase	Les homologues s'accrochent (s'apparient) et des crossing-over peuvent survenir	Pas d'appariement
Métaphase	Les homologues appariés s'alignent sur la plaque métaphasique	Les chromosomes individuels s'alignent sur la plaque métaphasique
Anaphase	Les centromères restent intacts ; les homologues se séparent	Les centromères se divisent ; les chromatides se séparent

la descendance. Les gènes d'une population sont brassés, à chaque génération successive.

1. Dans la 1^{re} division de la méiose, les homologues s'orientent au hasard à l'équateur. Ceci aboutit à une séparation aléatoire, vers l'un ou l'autre pôle, et à une probabilité égale, pour chaque homologue, de se retrouver dans un gamète particulier.
 - a) Chacune des paires homologues (23 chez les humains) se répartit indépendamment des autres. Ceci signifie qu'un **gamète humain a 2²³, ou 8 millions, de possibilités d'assortiments différents de chromosomes.**
 - b) Le **crossing-over** est aussi à l'origine d'une variation par échange de segments homologues qui transportent une information différente (allèles).
2. La **fécondation** est aléatoire, ce qui signifie que les 8 millions d'ovocytes possibles peuvent se combiner avec n'importe lequel des 8 millions de spermatozoïdes possibles pour donner **70 trillions de combinaisons diploïdes.**

5. Mutations

- A. Définitions et types. Les mutations sont des changements survenant dans le matériel génétique d'un organisme. Des mutations, qui affectent une fonction d'un gène, peuvent aboutir à un nouveau phénotype. Ce sont des changements héréditaires qui constituent une source permanente de variabilité dans des populations.
 1. **Certaines mutations impliquent un changement dans le nombre de chromosomes.** De tels changements résultent d'un événement méiotique anormal appelé **non disjonction** (absence de séparation). Dans ce processus, une paire homologue de chromosomes ne se sépare pas durant l'anaphase I ou II. Ceci aboutit à un gamète ayant les deux copies du chromosomes, l'autre gamète n'en ayant aucune.

- a) ***L'aneuploïdie**, qui correspond à un nombre anormal de chromosomes, se rencontre lorsqu'un gamète, provenant d'une non disjonction (un gamète reçoit deux copies du même type de chromosome ou pas du tout), est fécondé. L'aneuploïdie est transmise à toutes les cellules par mitose et peut aboutir à un avortement du fœtus. Un exemple d'aneuploïdie se rencontre dans la trisomie 21 : une non disjonction produit une copie supplémentaire du chromosome 21 et aboutit à un fœtus présentant un syndrome de Down (mongolisme).
 - b) *La **polyploïdie** correspond à la présence de plus de deux lots de chromosomes. Les polyploïdes sont dénommés triploïdes, tétraploïdes... selon qu'ils possèdent 3, 4... lots de chromosomes. La polyploïdie est fréquente chez de nombreux animaux et chez les plantes.
2. La plupart des mutations aboutissent à des changements dans la séquence d'ADN.
- a) Les mutations peuvent être importantes, impliquant de grandes régions d'ADN. Les grandes mutations peuvent modifier la structure des chromosomes et, par conséquent, être détectées comme un **caryotype anormal**.
 - b) Les mutations peuvent être aussi petites qu'un simple changement d'une paire de nucléotides dans l'ADN. De tels changements sont dits **mutations ponctuelles**.

B. Mécanismes de production des aberrations chromosomiques (figure 19-5)

1. Des **cassures dans un chromosome** peuvent provoquer une perte, ou un gain, d'information génétique.
- a) Une **délétion** est la perte d'une séquence d'ADN. Une délétion dans un gène affecte presque toujours négativement un phénotype.
 - b) Une **duplication** est la présence d'une copie supplémentaire d'une séquence sur le même chromosome ou sur un chromosome différent.
2. Des cassures de chromosomes sont souvent accompagnées par des **réarrangements de séquences d'ADN**
- a) Une **inversion** correspond à la réinsertion d'une séquence en sens inverse.
 - b) Une **translocation** implique l'union de l'ADN d'un chromosome à un autre chromosome.
 - c) Une **amplification** se rapporte à la production de nombreuses copies supplémentaires d'une séquence. On peut trouver un ADN amplifié au sein d'un chromosome ou sur des éléments extrachromosomiques.
 - d) Lorsqu'un chromosome est réarrangé, l'expression des gènes, à proximité des points de ruptures, peut être influencée par les nou-

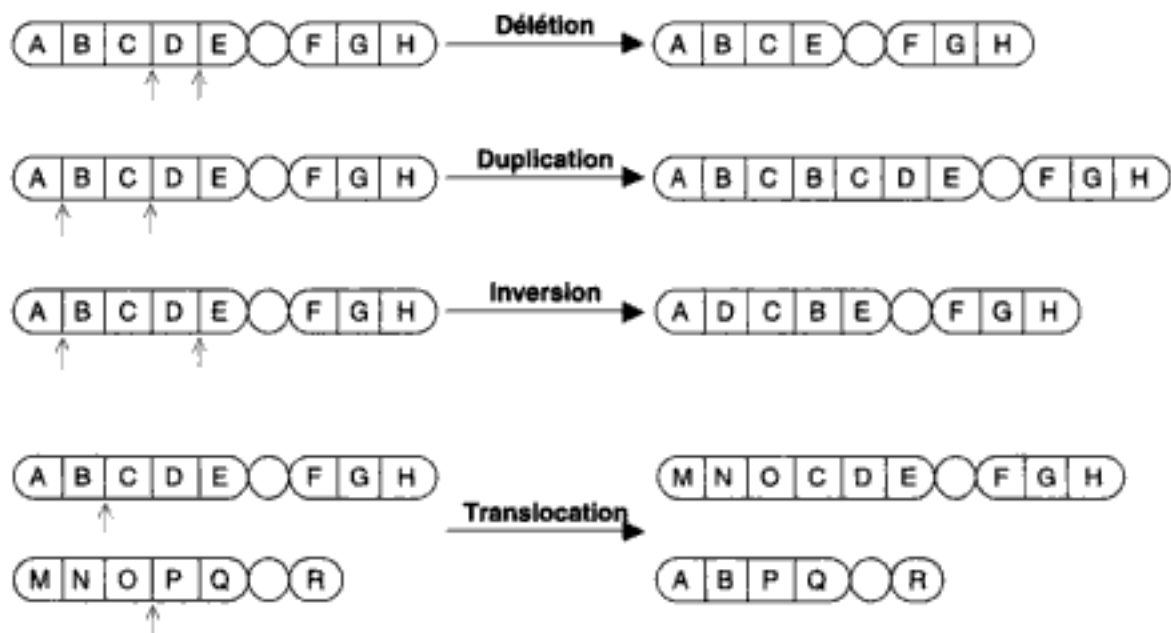


Figure 19.5 Mécanismes de production des aberrations chromosomiques

velles séquences voisines. Ce phénomène est appelé **effet de position**.

C. Effets des mutations sur les protéines

1. Un **changement de cadre de lecture** est obtenu lorsqu'une mutation modifie la séquence des codons dans l'ADN. Ceci aboutit à une nouvelle séquence des acides aminés en aval du point de mutation.
2. Mutations par substitution*
 - a) Une **mutation « faux sens »** aboutit au remplacement d'un acide aminé par un autre.
 - b) Une **mutation « non sens »** crée un codon stop, ce qui aboutit à une terminaison prématurée de la chaîne polypeptidique.
3. Des **mutations silencieuses** n'ont pas d'effet décelable sur le phénotype.
 - a) Un codon mutant peut coder le même acide aminé que le codon normal (i.e., codons redondants).
 - b) Une mutation peut se produire entre des gènes ou dans un **intron**.
 - c) Une mutation peut modifier une protéine non essentielle ou redondante.

6. Liaison aux chromosomes sexuels

A. Détermination du sexe

Le sexe est un caractère déterminé génétiquement. Chez les humains, les hommes et les femmes ont 22 paires de chromosomes homologues, ou **autosomes**.

1. Les **chromosomes sexuels** correspondent à la 23^e paire de chromosomes.
 - a) Les **femmes** ont deux chromosomes **X** (**XX**).
 - b) Les **hommes** ont un chromosome **X** et un chromosome **Y** (**XY**).
2. Même si les **chromosomes X** et **Y** s'apparient au cours de la 1^{re} division de la méiose, ils **ne sont pas homologues**. Le chromosome **Y** est petit et ne porte que peu de gènes ; le chromosome **X** est grand et porte de nombreux gènes essentiels.
3. Chez les humains, le **sexe** masculin est **hétérogamétique** ; c'est-à-dire que c'est lui qui produit deux types de gamètes et détermine le sexe des descendants (tableau 19-5). Chez les humains, la masculinité est déterminée par une région spécifique du chromosome **Y** appelée **facteur de détermination des testicules**. Toutefois, les mécanismes de détermination du sexe varient en fonction des organismes : chez les abeilles, par exemple, les ovocytes non fécondés (haploïdes) donneront des mâles, alors que les ovocytes fécondés (diploïdes) donneront des femelles.

B. Gènes liés au sexe

1. Les gènes liés au sexe sont des gènes situés sur le chromosome **X**. Ces gènes ont un mode d'hérédité spécial du fait que, chez les hommes et les femmes, les chromosomes sexuels sont différents.
 - a) Les fils ne reçoivent le chromosome **X** que de leur mère et le chromosome **Y** que de leur père. Toutes les filles reçoivent un chromosome **X** de leur père, ce qui n'est pas le cas des fils.

Tableau 19.5 Détermination du sexe chez les humains

		Spermatozoïdes	
		X	Y
Ovocytes	X	XX	XY
	X	XX	XY

Le rapport des descendants, filles et garçons, est de 1:1

- b) **Les garçons n'ont qu'un chromosome X.** Par conséquent, tout gène récessif lié au sexe (reçu de la mère) s'exprime dans le phénotype mâle.
 - c) **Les filles ont deux chromosomes X** ; il faut donc deux copies récessives d'un gène pour que le caractère apparaisse au niveau du phénotype.
 - d) **Le nombre de garçons ayant des maladies récessives liées au sexe est supérieur à celui des filles.** C'est le cas pour l'achromatopsie (daltonisme), l'hémophilie et la dystrophie musculaire de Duchenne.
- 2. Garçons et filles ont deux copies des gènes autosomiques.** Toutefois, les filles ont deux copies des gènes liés au sexe alors que les garçons n'en ont qu'une.
- a) **Chez les femelles de mammifères, les cellules compensent cette inégalité en inactivant un des chromosomes X** au cours de l'embryogenèse, ne laissant qu'une copie active des gènes liés au sexe.
 - b) Le chromosome X inactif se contracte en un corps dense appelé **corps de Barr**.
 - c) Dans chaque cellule, **l'inactivation d'un chromosome X se fait au hasard**. Par conséquent, pour les allèles hétérozygotes liés au sexe, chaque allèle est actif dans environ la moitié des cellules femelles.

7. Analyse des arbres généalogiques

- A.** Les arbres généalogiques illustrent l'histoire d'une famille en ce qui concerne l'hérédité d'un trait de caractère particulier. Les arbres généalogiques sont utilisés pour analyser la ségrégation des maladies héréditaires chez les humains.
1. Lors de l'établissement d'un arbre généalogique, **les hommes sont symbolisés par des carrés et les femmes par des cercles**. Les lignes horizontales représentent les parents et les lignes verticales relient les enfants à leurs ascendants.
 2. Les **génotypes** sont représentés par des symboles. Un individu malade est signalé par un carré (ou un cercle) plein ou hachuré.
- B.** Pour déterminer le mode d'hérédité chez les humains, que la maladie héréditaire soit dominante ou récessive, on compare, dans l'arbre généalogique, le nombre d'individus sains au nombre d'individus atteints.
1. Dans une famille, les **maladies héritées de façon récessive** sont révélées par un rapport de trois membres sains pour un membre atteint (figure 19-6).

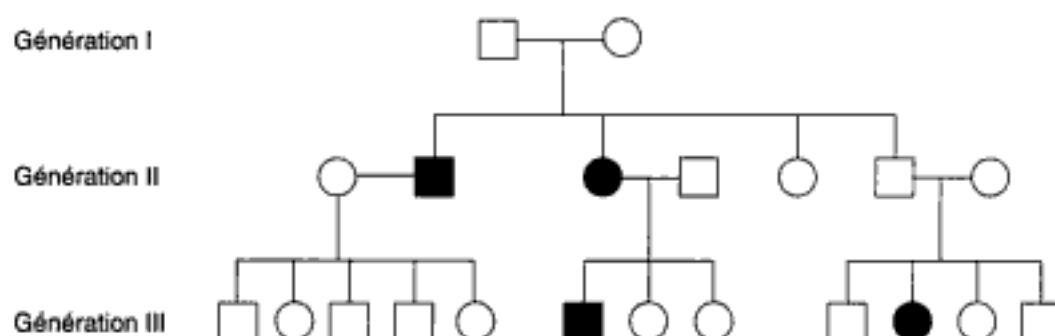


Figure 19.6 Arbre généalogique démontrant une maladie hérédée de façon récessive

- a) Les maladies récessives sautent souvent des générations parce que les membres hétérozygotes d'une famille, ou **porteurs**, sont phénotypiquement normaux.
 - b) Lorsque **deux porteurs s'unissent**, chaque descendant risque 1 fois sur 4 d'être homozygote et d'avoir la maladie. Chaque descendant a 3 chances sur 4 d'être normal (toutefois, 2 de ces 3 descendants sont eux-mêmes porteurs).
 - c) La phénylcétonurie, la mucoviscidose, la maladie de Tay-Sachs et l'anémie falciforme sont des exemples de maladies hérédées de façon récessive.
2. Dans une famille, les **maladies hérédées de façon dominante** sont caractérisées par un rapport de 1 : 1 (figure 19-7). Une seule copie d'un allèle dominant suffit pour affecter de façon significative un phénotype. Des caractères dominants **ne sautent habituellement pas de générations**.
- a) Les membres d'une famille **hétérozygotes pour des caractères dominants létaux ne se reproduisent habituellement pas**, si bien que les allèles concernés sont moins communs, dans une population, que des allèles récessifs létaux.

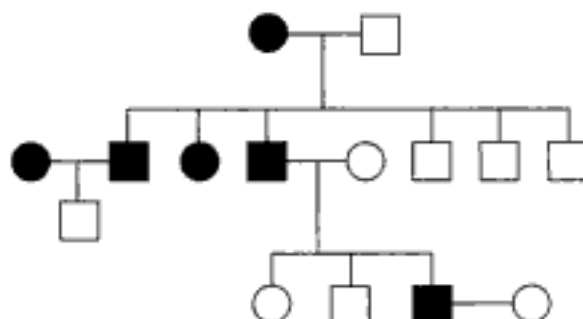


Figure 19.7 Arbre généalogique mettant en évidence une maladie hérédée de façon dominante

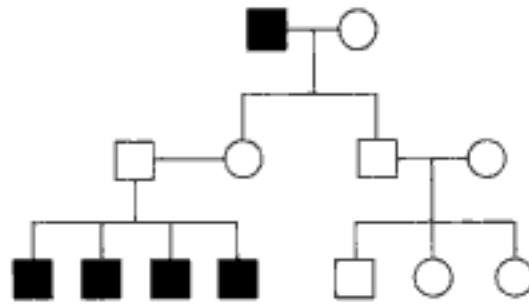


Figure 19.8 Arbre généalogique mettant en évidence l'hérédité d'une maladie récessive liée au sexe

- b) **Les allèles létaux dominants à action tardive**, qui se révèlent, dans la vie, bien après qu'un individu ait pu se reproduire, constituent l'exception. Chaque descendant risque 1 fois sur 2 de recevoir l'allèle dominant. La chorée de Huntington et la maladie d'Alzheimer en sont des exemples.
3. **Un caractère récessif lié au sexe atteint plus les garçons que les filles** (figure 19-8). De tels caractères sont transmis d'une femme normale, porteuse, à tous ses fils, qui sont touchés. Le caractère est ensuite transmis, des fils atteints, à toutes leurs filles, qui sont porteuses.

8. Carte génétique

A. Liaison génétique

- Des **gènes liés** sont des gènes localisés sur le même chromosome. Les gènes liés constituent une **exception à la loi de Mendel de l'indépendance des caractères**.
 - Des gènes contigus sur le chromosome sont hérités comme une unité (i.e., ils passent ensemble la méiose et la fécondation). Ces gènes ne se séparent pas de façon indépendante.
 - La plupart des descendants ont le génotype de leurs parents au niveau de loci étroitement liés.
- Des gènes situés sur un même chromosome, mais à une certaine distance l'un de l'autre, peuvent être séparés, lors de la méiose, par **crossing-over**. Un crossing-over peut aboutir à un échange d'information entre chromosomes homologues appariés (figure 19-9).
 - Si les homologues portent des allèles différents des gènes échangés, il en résulte une **nouvelle combinaison d'allèles** sur le chromosome. Ce type de recombinaison aboutit à un **chromosome recombinant**.

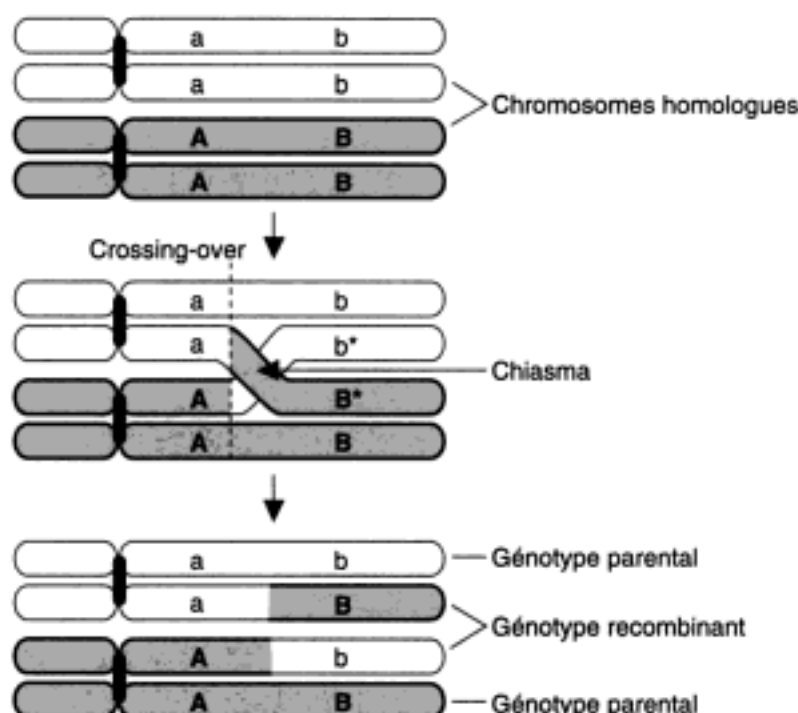


Figure 19.9 Le processus du crossing-over et de chiasma*

- b) La **fréquence de recombinaison** entre deux gènes reflète la fréquence de crossing-over : elle est proportionnelle à la distance entre les gènes.
- c) Les recombinaisons aboutissent à la production d'une descendance recombinante.

B. Dresser la carte des gènes

1. On peut réaliser une **carte des gènes** en se basant sur les fréquences des recombinaisons pour attribuer un gène à un chromosome particulier et à une région du chromosome. La distance entre des gènes liés peut être déterminée en utilisant les fréquences de recombinaisons.
2. Ce paragraphe illustre la réalisation d'une carte des gènes concernant la couleur du corps et la forme des ailes chez la drosophile.
 - a) La figure 19-10 montre le « **test-cross** » en cas de **dihybridisme**.
 - (1) Une fréquence de recombinaison de 1% est définie comme **1 unité de carte** sur un chromosome.
 - (2) Par conséquent, **c** (corps) et **vg** (vestigial) sont séparés de 22 unités de carte.
 - b) Plus la distance entre deux gènes situés sur un chromosome est grande, plus il y a de chances pour qu'il y ait un crossing-over entre eux et plus la fréquence de recombinaison est grande.

P	c^+c, vg^+vg (corps gris, ailes normales)	X	$cc, vgv g$ (corps noir, ailes vestigiales)
F₁	Gris, normales : 400 Noir, vestigiales : 380 Parentaux : 780 individus (>50%)		Noir, normales : 120 Gris, vestigiales : 100 Recombinants: 220 individus

Fréquence de recombinaisons entre c et vg =
220 recombinaisons/1000 descendants = 22 %

Figure 19.10 Test-cross » dihybride, utilisé pour établir la carte des gènes de la couleur du corps (c) et de la forme des ailes (vg) chez la drosophile

La fréquence de recombinaison de 1% est l'unité de carte. Par conséquent, ce « test-cross » démontre que les gènes « c » et « vg » sont séparés par 22 unités de carte.

20

Évolution

1. Sélection naturelle

A. Charles Darwin

En 1859, Charles Darwin publia *Sur l'origine des espèces par la sélection naturelle*. Dans ce livre, il apportait la preuve que les espèces présentes aujourd'hui avaient évolué à partir d'espèces ancestrales. Darwin proposa également un mécanisme évolutif qu'il appela **sélection naturelle**.

1. La **théorie de la sélection naturelle** est basée sur les trois concepts majeurs suivants :

- a) Dans toute population, **chaque génération produit plus d'individus que ne peut en supporter l'environnement**. Ceci conduit à une compétition pour l'accès aux ressources naturelles limitées et à la survie d'une fraction seulement des individus à chaque génération.
- b) La probabilité de survie n'est pas aléatoire, mais dépend en partie de l'adaptation d'un individu : c'est la **survie du mieux adapté**. L'adaptation concerne des caractères héréditaires, qui mettent un individu en adéquation avec son environnement.
- c) Les **individus les mieux adaptés à leur environnement laisseront vraisemblablement une descendance plus adaptée que les individus qui le sont moins**. Cette **reproduction différentielle**, parmi les individus d'une population, y entraîne l'accumulation graduelle de caractères favorables. Le pool de gènes change en même temps que la population s'adapte à son environnement.

2. Il existe **trois modes principaux de sélection naturelle**.

- a) La **sélection stabilisatrice** implique la sélection de phénotypes intermédiaires plutôt que celle de phénotypes extrêmes. Ce type de

Hidden page

1. Il y a deux modes principaux de spéciation.

- a) Dans la **spéciation phylétique (anagenèse)**, une espèce ancestrale évolue, avec le temps, en une nouvelle espèce.
- b) Dans la **spéciation divergente (cladogenèse)**, une espèce ancestrale se divise, formant, avec le temps, plusieurs nouvelles espèces.

2. Il y a trois mécanismes principaux de spéciation basés sur des critères biogéographiques.

- a) Dans la **spéciation allopatrique**, une barrière géographique isole deux populations qui évoluent ensuite indépendamment.
- b) La **spéciation sympatrique** se produit quand un changement génétique, apparu dans un sous-groupe d'une population, l'isole du reste de la population en ce qui concerne la reproduction. Le pool de gènes est ainsi divisé sans séparation géographique.
- c) La **spéciation parapatric** implique une divergence progressive des membres d'une population qui forment des espèces différentes. La spéciation parapatric ne requiert pas de séparation géographique.

3. L'origine de la vie

A. Évolution chimique.

La terre est âgée d'environ 4 milliards d'années. On suppose que les premiers organismes vivants sont apparus par un phénomène progressif d'évolution chimique. On pense que ce processus a impliqué quatre étapes.

1. **Synthèse abiotique (sans vie).** Dans un premier temps, des composés organiques furent synthétisés à partir de précurseurs inorganiques disponibles dans l'atmosphère et les mers de la terre primitive (e.g., eau, méthane, gaz ammoniac et hydrogène). Ce processus de synthèse abiotique (sans vie) conduisit à l'accumulation de petits composés organiques.
2. **Formation de polymères organiques.** Des composés organiques furent assemblés pour former des polymères organiques.
3. **Formation de protobiontes.** Des molécules organiques s'assemblèrent pour former des gouttelettes appelées protobiontes. On suppose que les protobiontes avaient certaines propriétés des cellules vivantes tels que métabolisme, excitabilité et milieu interne bien défini.
4. **Évolution.** L'hérédité commença avec l'origine d'une information génétique.

B. Fossile le plus ancien

Selon les paléontologues, les organismes les plus anciens seraient des cellules procaryotes apparues il y a environ 3 milliards d'années.

Hidden page

des embryonnaires similaires, dont un stade au cours duquel ils ont des fentes branchiales. Celles-ci se développent en branchies chez les poissons et en structures variées chez les différents autres vertébrés.

2. L'idée que le développement embryonnaire est une répétition de l'histoire de l'évolution des organismes est résumée dans l'expression « **l'ontogenèse récapitule la phylogenèse** ».

- B. L'analogie est une ressemblance entre des espèces non apparentées sur le plan évolutif. Des structures analogues peuvent évoluer indépendamment à cause de certains avantages sélectifs communs. Ce type d'évolution est appelé évolution convergente. Par exemple, les ailes des insectes et celles des oiseaux ont évolué indépendamment. Bien qu'elles soient toutes deux utilisées pour voler, elles sont construites à partir de structures totalement différentes.

<http://coursdemedecine.blogspot.com/>

21

Une vue d'ensemble de la botanique

1. Évolution des végétaux

A. Selon toute vraisemblance, les végétaux ont évolué à partir d'algues vertes aquatiques (protistes). Il existe de multiples similitudes structurales entre les algues vertes et les plantes. Les deux :

1. ont des parois cellulaires composées de cellulose
2. contiennent de la chlorophylle *a* et de la chlorophylle *b*
3. stockent l'énergie sous forme d'amidon
4. montrent le même type d'orientation des disques thylacoïdes dans les chloroplastes (i.e., grana)

B. Il y a **quatre périodes importantes dans l'évolution des végétaux.**

1. Adaptation à la vie terrestre. L'évolution des plantes à l'habitat terrestre se produisit vraisemblablement à partir des algues vertes, il y a environ 425 millions d'années. Les mousses sont un exemple de ces premières plantes. Les premières adaptations évolutives à la vie terrestre comprenaient :

- a) L'apparition progressive d'une cuticule empêchant le dessèchement à l'air
- b) Un tissu vasculaire (chez certaines espèces)

2. La diversification des plantes vasculaires (e.g., fougères) eut lieu il y a environ 400 millions d'années.

3. Les graines sont apparues il y a environ 360 millions d'années. Les graines représentaient un progrès significatif pour plusieurs raisons. Elles :

- a) protégeaient l'embryon des plantes de la dessiccation
- b) contenaient des réserves d'énergie pour l'embryon
- c) assuraient une survie accrue aux embryons des plantes

Hidden page

Hidden page

Hidden page

Tableau 21.2 *Structures et fonctions des constituants d'une tige de plante âgée

Parties de la tige	Description	Fonctions
Épiderme	Assise de cellules la plus externe, recouverte d'une cuticule	Protège contre les pertes d'eau
Cortex (écorce)	Liège (suber)	Protection contre les blessures ; stocke la nourriture
	Cambium externe (A, S-P)	Donne le liège vers l'extérieur et le phellodème vers l'intérieur
	Phellodème	Réserve et soutien
	Parenchyme cortical	Réserves
Stèle	Phloème I	Transportant la sève élaborée
	Phloème II (liber)	
	Xylème III (bois)	Transportant la sève brute
	Xylème I	
	Cambium vasculaire (C, L-L)	Donne du liber vers l'extérieur et du bois vers l'intérieur
	Moelle	Réserves

I = Primaire ; II = Secondaire ; A, S-P = Assise subéro-phellodermique ; C, L-L = cambium libéro-ligneux

une « traction vers le haut » de la colonne d'eau, dans le xylème.

C. Les tiges

1. ***Morphologie** (tableau 21-2 ; figure 21-2). L'ensemble des tiges est la partie généralement aérienne de la plante qui porte les feuilles et, au moment de la reproduction, les organes reproducteurs (fleurs, fruits, graines).

a) La **tige herbacée** se présente comme un axe vert, terminé par un bourgeon terminal et portant des feuilles insérées sur des nœuds. L'espace compris entre deux nœuds est un entrenœud. À l'aisselle de chaque feuille se trouve un bourgeon axillaire, ou bourgeon latéral. La tige principale s'allonge grâce à l'activité du bourgeon terminal.

b) Dans un arbre, le tronc épais et les nombreuses branches qui se ramifient à une certaine hauteur sont autant de **tiges ligneuses** (xylème secondaire ou bois).

2. **Anatomie et croissance** (tableau 21-2 ; figure 21-2). L'anatomie d'une tige varie, dans une certaine mesure, en fonction du type de plante.

a) **Allongement**. Une tige jeune comprend des tissus primaires. Ceux-ci sont des ensembles de cellules en division situés à l'extrémité (apex) des tiges dans le bourgeon apical, en posi-

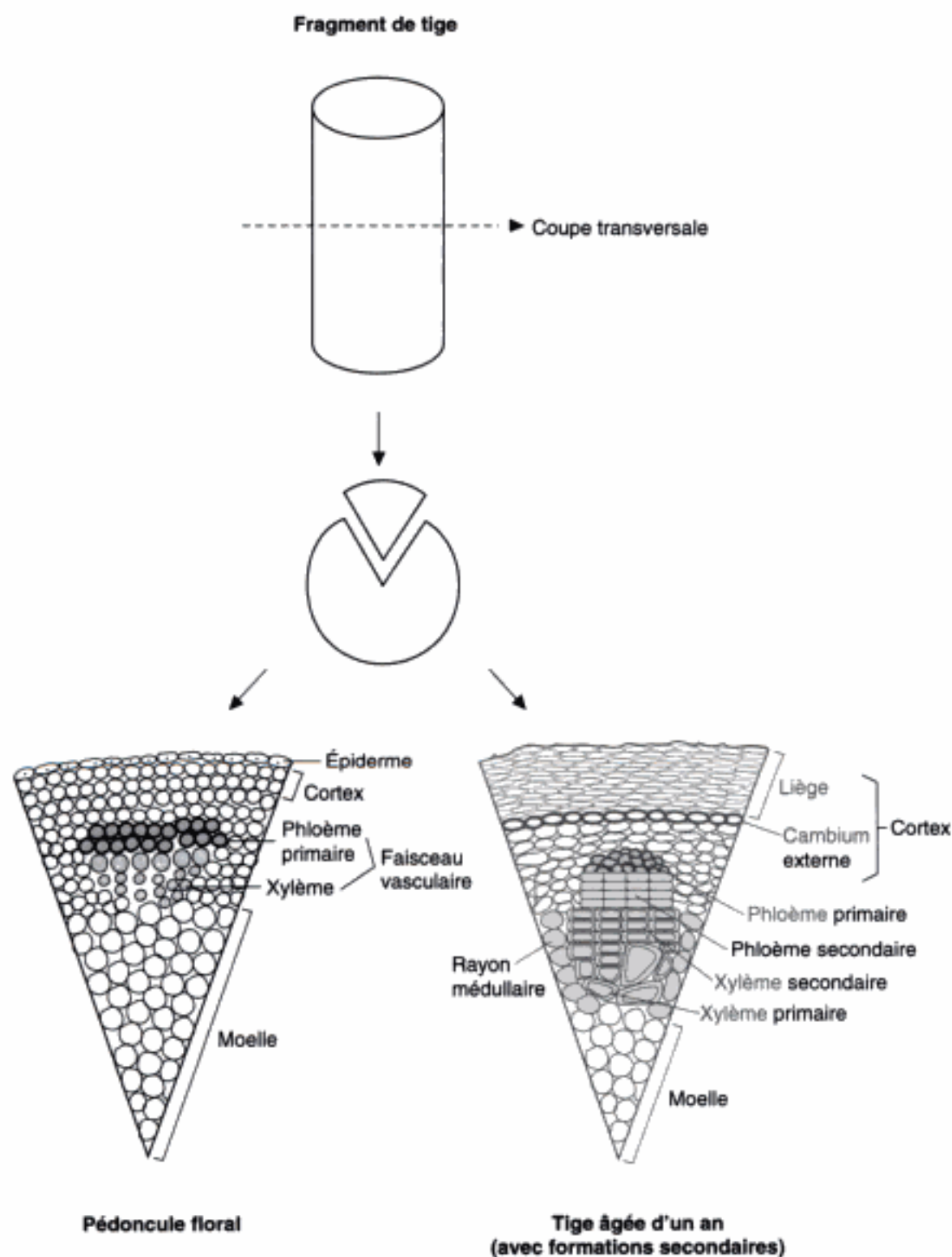


Figure 21.2 *Vues, en coupe transversale, d'un **pédoncule floral** (à gauche) et d'un **tronc d'arbre âgé d'un an** (à droite) (non représentées à l'échelle)

tion latérale dans les bourgeons axillaires. Ces tissus assurent l'allongement des tiges.

- b) Épaississement.** Dans les tiges plus âgées, ou les troncs, la croissance en épaisseur résulte de l'addition de tissus secondaires (**croissance secondaire**) à ceux de la structure primaire. Dans ce processus, le cambium libéro-ligneux, bien visible dans le tronc des arbres, produit vers l'intérieur du bois (xylème secondaire) et vers l'extérieur du liber (phloème secondaire). Plus tard se forme le cambium externe (assise subéro-phellodermique) situé dans l'écorce près de l'épiderme. Le premier tissu produit est le liège (suber) qui se différencie sur la face externe du cambium. Ensuite, sur la face interne, apparaît le phelloderme.

(1) Le xylème secondaire (bois) d'une tige âgée de plusieurs années est disposé en couches concentriques (cernes). Chaque cerne correspond à l'épaisseur du bois produit en une année par le cambium ; il comprend un bord interne, clair (bois de printemps) et un bois externe, foncé (bois d'été).

(2) Le liber ne présente pas d'accumulation annuelle. Il donne de l'écorce puis est éliminé.

D. Les feuilles

- 1. *Morphologie.** Une feuille est formée d'une lame verte, mince, le limbe, dont une des faces (supérieure ou ventrale) est tournée vers le sommet de la tige et l'autre face (inférieure ou dorsale) est tournée vers la base de la tige. Le limbe est rattaché à la tige par le pétiole. Il est parcouru par une nervure principale d'où partent des nervures secondaires. Une feuille est **simple** si elle possède un limbe non divisé. Si celui-ci est divisé en plusieurs folioles, elle est dite **composée**.

2. *Organisation anatomique

Sur une coupe transversale de limbe, on observe les tissus fondamentaux suivants :

- a) Un épiderme** qui recouvre toute la surface du limbe. L'épiderme supérieur est formé d'une assise de cellules épidermiques couvertes d'une cuticule épaisse et sans **stomates** (petits pores) alors que l'épiderme inférieur possède une cuticule plus mince et présente des stomates.
- b) Un mésophylle.** C'est un parenchyme chlorophyllien dont les cellules pratiquent la photosynthèse. Ce parenchyme n'est pas homogène : il est souvent constitué de deux types de parenchyms superposés.
- c) Le système conducteur** correspond aux nervures du limbe. La nervure principale forme une saillie sur la face inférieure du limbe ; elle est formée par un large faisceau libéro-ligneux (con-

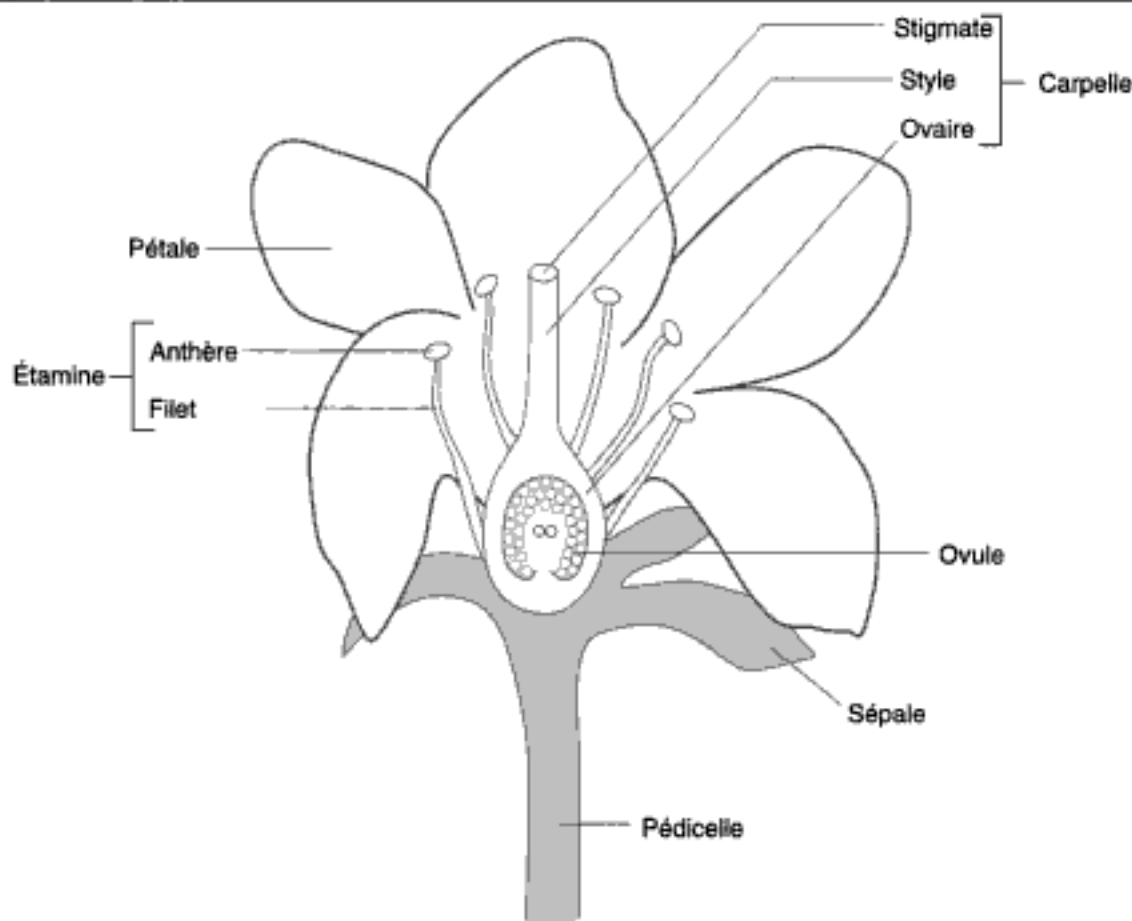


Figure 21.3 Structure d'une fleur. La structure interne de l'ovaire est représentée.

ducteur) dont le xylème est toujours orienté vers la face supérieure du limbe et le phloème vers la face inférieure. Les nervures secondaires sont aussi constituées par un faisceau libéro-ligneux, mais plus réduit. Le système conducteur délivre les glucides et les autres produits de la photosynthèse au phloème qui les transporte aux autres régions de la plante.

E. *Les fleurs (figure 21-3). Une fleur est faite de deux parties importantes : une partie protectrice, le périanthe, et une partie reproductrice.

1. Le périanthe

- Les **sépales** sont les structures vertes externes. L'ensemble des sépales forme le **calice**.
- Les **pétales** sont les pièces florales colorées de la fleur, attirant les pollinisateurs (e.g., insectes, dont les abeilles). L'ensemble des pétales constitue la **corolle**.

2. L'appareil reproducteur

- L'**appareil reproducteur mâle** est formé des **étamines**. Celles-ci sont constituées d'un **filament** appelé filet et d'une tête

connue sous le nom d'**anthère**. Dans les anthères se forment les **grains de pollen** (gamétophytes mâles) qui produisent les gamètes mâles.

- b) L'**appareil reproducteur femelle** est représenté par le **carpelle**. Celui-ci a une partie supérieure visqueuse nommée **stigmate**, un col élargi appelé **style** et une base renflée baptisée **ovaire**. Dans l'ovaire se trouvent un ou plusieurs **ovules**, chacun contenant un gamétophyte femelle (sac embryonnaire) produisant un gamète femelle, l'**oosphère**.

3. Cycle de développement

21

Au cours de leur cycle de développement, de nombreuses plantes existent sous deux formes différentes. Quand il existe une alternance entre ces deux formes, on dit qu'il y a **alternance de générations**, c'est-à-dire succession de deux phases.

- A. Le gamétophyte, haploïde, est la forme qui produit les gamètes. Chez les plantes les plus évoluées, le gamétophyte est très réduit.
- B. Le sporophyte, diploïde, est la forme qui produit des méiospores. Chez les plantes évoluées, il est de grande taille.

4. Le règne végétal

Les végétaux occupent un des cinq grands règnes des organismes vivants, le **règne végétal**. Le règne végétal comporte dix embranchements (tableau 21-3).

A. Les plantes non vasculaires : les bryophytes

1. Caractéristiques générales

- a) *Ce sont de petites plantes, vivant surtout dans les stations humides et marécageuses, parfois arides. Leur aspect est varié, mais elles naissent et se reproduisent toutes suivant le même processus.
- b) Les gamètes se développent dans un organe protecteur le **gamétange**.
 - (1) Le **gamétange mâle**, l'**anthéridie***, produit des **anthérozoïdes**. Ceux-ci ont des flagelles, sont mobiles et ont besoin d'un milieu aqueux pour nager vers l'oosphère.
 - (2) Le **gamétange femelle**, l'**archégone**, produit une oosphère. La fécondation a lieu dans l'archégone et conduit au développement d'un embryon.
- c) *Les spores se développent dans un **sporange**.
- d) Les **bryophytes** ne possèdent pas de racines mais des structures qui leur ressemblent : les **rhizoïdes**.

Tableau 21.3 Divisions du règne végétal

Nom des divisions (taxons)	Nom commun
Plantes non vasculaires	
Embranchement des hépatophytes	Hépatiques
Embranchement des anthocérophytes	Anthocérotes
Embranchement des bryophytes	Mousses
Plantes vasculaires, sans graine : ptéridophytes	Fougères au sens large
Embranchement des psilophytes ⁺	Psilophytes
Embranchement des lycophytes	Lycopodes
Embranchement des sphénophytes ⁺	Prêles
Embranchement des filicinophytes	Fougères sensu stricto
Plantes vasculaires, à graines : spermatophytes	
Gymnospermes (graines nues)	
Embranchement des cycadophytes ⁺	Cycas
Embranchement des ginkgophytes ⁺	Ginkgo
Embranchement des coniférophytes	Conifères (résineux)
Embranchement des gnétophytes ⁺	Chlamydospermes
Angiospermes (graines enfermées dans un ovaire)	
Embranchement des anthophytes	Plantes à fleurs vraies

+ Contient moins de 100 espèces

- e) Comme les plantes non vasculaires ne possèdent pas de système vasculaire, elles utilisent la **diffusion**, la **capillarité** et le **flux cytoplasmique** pour distribuer l'eau dans tout l'organisme.
- f) Le cycle de développement alterne les générations haploïde (génération dominante) et diploïde (production de spores haploïdes par méiose).

2. Classification

- a) L'embranchement des **hépatophytes** (hépatiques). Elles comptent plus de 6 000 espèces. La morphologie de l'appareil végétatif (gamétophyte) permet de distinguer des hépatiques à feuilles, dont l'aspect rappelle celui des mousses, et des hépatiques à thalle, plus ou moins divisé en lobes (i.e., d'après les lobes du foie). Leur capsule (sporophyte) est sphérique et noire. Les hépatiques peuvent aussi se reproduire de façon sexuée.
- b) L'embranchement des **anthocérophytes** (anthocérotes). Il y a moins de 100 espèces. Ces plantes sont aussi petites que les hépatiques. Elles possèdent de petits thalles lobés. Leur capsule (sporophyte), mince et très allongée (en forme de corne) porte des stomates.
- c) L'embranchement des **bryophytes** comprend :
 - (1) L'ordre des **bryales**. Très nombreuses sous tous les climats, les bryales croissent généralement en groupes, formant des sortes de coussinets.

- (2) L'ordre des **sphagnales** (sphaignes). Regroupées en colonies parfois très vastes sur des sols marécageux, les sphaignes sont les éléments essentiels de la formation végétale désignée sous le terme de **tourbière**.

B. Les plantes vasculaires, sans graine (ptéridophytes au sens large)*.

1. L'embranchement des **psilophytes** comprend des plantes simples, primitives. Ces plantes ont de nombreuses tiges mais pas de véritables feuilles.
2. L'embranchement des **lycophytes** comprend les **lycopodes** et les **sélaginelles***. Ce sont des noms communs ; toutefois les lycophytes ne sont ni des mousses ni des conifères. Ce sont plutôt de petites plantes qui vivent sur le sol ou croissent sous les tropiques. De nombreuses lycophytes tropicales sont des **épiphytes** (i.e., des plantes qui poussent sur une autre plante sans l'endommager) ; elles poussent sur des arbres.
3. L'embranchement des **sphénophytes** comprend les **prêles**, qui sont aussi des plantes anciennes. Seules, 20 espèces environ survivent encore. Les prêles ont une tige droite, articulée et une pointe en forme de cône. Elles vivent dans des zones humides.
4. L'embranchement des **filicinophytes** (**filicinées** = **fougères** au sens strict)*. Ce sont les plantes vasculaires sans graine qui ont le mieux réussi actuellement. Il en existe plus de 10 000 espèces.
 - a) Les fougères sont trouvées sous les tropiques et dans les régions tempérées. Généralement, les fougères requièrent des environnements humides pour survivre.
 - b) Les fougères ont des cycles de développement avec alternance de phases.
 - (1) Les spores haploïdes, produites par les feuilles des fougères adultes, germent et se développent en petits organes appelés **prothalles** (gamétophytes)*
 - (2) Sur les prothalles se développent des **anthéridies** qui produisent des anthérozoïdes et des **archégones** qui donnent des oosphères*.
 - (3) Une oosphère fécondée donne un embryon qui se transforme en fougère adulte (sporophyte)*.
 - (4) Les fougères développent, sous leurs feuilles, des groupes de sores (ensembles de sporanges contenant les spores)*. Celles-ci, finalement, redonnent naissance à de nouveaux gamétophytes.

C. Les plantes vasculaires, à graines (les spermatophytes)

1. Les gymnospermes

- a) L'embranchement des **coniférophytes** comprend les **conifères** (e.g., séquoias, pins, cèdres, sapins, genévriers), toujours

verts avec des cônes et des feuilles en forme d'aiguilles. Le cycle de développement typique d'un conifère comporte des phases haploïde et diploïde. Deux types de cônes se développent : les **cônes à pollen** et les **cônes à ovules**.

(1) Des spores haploïdes, produites par méiose, sont libérées des cônes à pollen, et assurent la pollinisation des ovules (contenus dans les cônes à ovules).

(2) Les grains de pollen pénètrent dans les écailles des cônes à ovules et développent lentement un tube pollinique qui s'allonge vers l'ovule. Les anthérozoïdes haploïdes se déplacent dans le tube pollinique jusqu'à l'ovule et le fécondent. Un nouvel embryon (sporophyte) se développe alors en une plantule de conifère.

b) L'embranchement des **cycadophytes** (plantes ressemblant à des palmiers), l'embranchement des **ginkgophytes** (arbre aux quarante écus), et l'embranchement des **gnétophytes** (groupe particulier de diverses plantes ayant des caractéristiques d'arbres, de plantes grimpantes ou d'arbrisseaux) sont aussi des gymnospermes.

2. Les **angiospermes** sont les plantes les plus diverses et les plus nombreuses. On en connaît près de 250 000 espèces.

a) Les angiospermes ont des fleurs et des fruits. Le fruit, ovaire adulte contenant des graines, s'est développé en tant que mécanisme de dispersion des graines. Les animaux consomment le fruit et digèrent la partie comestible, alors que les graines traversent le tractus digestif sans dommage. Les graines sont ensuite déposées avec les fèces à une certaine distance de la plante mère.

b) Les angiospermes ont un **cycle de développement** complexe avec **alternance des générations**, entre **phases haploïde et diploïde**.

(1) Le pollen haploïde se développe dans les étamines de la fleur et il est transporté par le vent ou par des pollinisateurs (insectes) jusqu'au carpelle.

(2) Le pollen adhère au stigmate et envoie un tube pollinique qui descend le style vers l'ovaire.

(3) Le tube pollinique pénètre finalement dans l'ovule puis dans le sac embryonnaire* à l'intérieur duquel il libère deux gamètes mâles haploïdes. L'un d'eux féconde l'oosphère, donnant un œuf (zygote) principal diploïde. L'autre fusionne avec les deux noyaux polaires du sac embryonnaire et forme un noyau triploïde. Ce processus est connu sous le terme de **double fécondation**.

- (4) Le noyau triploïde forme l'albumen, tissu riche en réserves de nourriture (amidon). Le zygote diploïde donne un embryon sporophytique. L'ensemble de l'ovule se transforme en **graine**.
- (5) La graine contient l'embryon et l'albumen. Elle est protégée par une enveloppe externe. Finalement, la graine germe et l'embryon produit une nouvelle plante (sporophyte).

Hidden page

on ajoute alors 10^{-12} mole de vitamine C, la vitesse de production du métabolite augmente à 10^{-11} mole/sec. La vitamine C agit probablement comme :

- A) un activateur allostérique de la COMT.
 - B) un inhibiteur compétitif de la COMT.
 - C) un inhibiteur non compétitif de la COMT.
 - D) une enzyme dénaturant l'agent.
3. L'acide lactique est le produit final du métabolisme anaérobie. La glande, ou l'organe, qui enlève le lactate de la circulation et le resynthétise en acétyl-CoA est :
- A) le foie.
 - B) la rate.
 - C) le rein.
 - D) l'hypophyse.
4. Quel est le produit final de la chaîne carbonée du glucose dans le métabolisme ?
- A) l'ATP
 - B) le CO_2
 - C) l' O_2
 - D) le NADH
5. La production d'ATP à partir de l'énergie stockée dans le NADH est le résultat de :
- A) l'hydrolyse.
 - B) l'oxydo-réduction.
 - C) le chimiotactisme.
 - D) la déphosphorylation.
6. Quel processus ne se déroule pas dans des organites intracellulaires ?
- A) La phosphorylation oxydative
 - B) La transcription
 - C) Le transport des électrons
 - D) La glycolyse
7. En l'absence d'oxygène, quel est le processus qui ne se poursuit pas ?
- A) La glycolyse
 - B) La conversion du pyruvate en lactate
 - C) La production d'ATP
 - D) Le transport des électrons
8. Les infections de la peau sont le plus souvent provoquées par des bactéries de forme sphérique, trouvées en groupes. Le nom le plus plausible de ces bactéries est :
- A) bacilles.
 - B) spirilles.
 - C) streptocoques.
 - D) staphylocoques.

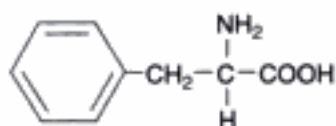
Les questions de 9 à 11 se réfèrent à une séquence d'ADN trouvée sur un brin d'une molécule d'ADN à double brin. Cette séquence est la suivante :

3' AAGGCTAGC 5'

9. Quelle est la séquence du brin complémentaire d'ADN ?
- A) 5' AAGGCTAGC 3'
 - B) 3' TTCCGATCG 5'
 - C) 5' TTCCGATCG 3'
 - D) 5' UUCCGAUCG 3'
10. Quel est l'ARNm primaire transcrit à partir du brin complémentaire identifié à la question 9 ?
- A) 5' CGATCGGAA 3'
 - B) 5' CGAUCGGAA 3'
 - C) 5' UUCCGAUCG 3'
 - D) 5' GCUAGCCUU 3'
11. Quelle est la séquence anticodon de l'ARNt codée par la séquence originale d'ADN ?
- A) AAG GCT AGC
 - B) TTC CGA TCG
 - C) AAG GCU AGC
 - D) UUC CGA UCG
12. Laquelle des affirmations concernant les eucaryotes et les procaryotes est fausse ?
- A) Les deux ont de l'ADN à double brin.
 - B) Les deux ont de l'ARN à simple brin.
 - C) Les deux utilisent des ribosomes libres comme sites de la synthèse protéique.
 - D) Les deux répliquent leur ADN chromosomique à partir d'une origine unique.
13. Quelles affirmations générales sur le matériel génétique sont vraies ?
- I) Il peut être constitué d'ADN à double brin.
 - II) Il peut être fait d'ARN à simple brin.
 - III) Il peut être constitué d'ADN à simple brin.
 - IV) Il peut être fait d'ARN à double brin.
- A) I et II
 - B) I, II et III
 - C) II et IV
 - D) I, II, III et IV
14. Quelle structure, ou molécule, n'intervient pas dans la synthèse d'une nouvelle protéine destinée à être insérée dans la membrane plasmique cellulaire ?
- A) L'appareil de Golgi
 - B) Les ribosomes libres
 - C) L'ARNt
 - D) Le réticulum endoplasmique

15. Quel est le processus qui n'est pas communs aux eucaryotes et aux procaryotes ?
- A) La synthèse d'ADN précède la formation du fuseau lors de la division.
 - B) Chaque cellule fille reçoit la moitié de l'ADN maternel.
 - C) La glycolyse fournit l'ATP pour l'usage cellulaire.
 - D) La phosphorylation oxydative peut fournir de l'ATP pour l'usage cellulaire.
16. Quels organismes ne sont pas considérés comme des champignons ?
- A) Les levures
 - B) Les moisissures
 - C) Les levures et les moisissures
 - D) Ni les levures ni les moisissures
17. Quel est l'ordre des phases de la mitose ?
- A) Interphase, prophase, métaphase, anaphase, télophase
 - B) Interphase, télophase, métaphase, prophase, anaphase
 - C) Interphase, prophase, anaphase, télophase, métaphase
 - D) Prophase, métaphase, anaphase, interphase, télophase
18. Il n'y a pas de bicouches lipidiques dans :
- A) les mitochondries.
 - B) le réticulum endoplasmique.
 - C) les lysosomes.
 - D) les nucléoles.
19. Quelle affirmation ne s'applique pas aux champignons ?
- A) Ce sont des eucaryotes.
 - B) Ils peuvent être soit haploïdes soit diploïdes.
 - C) Ils se reproduisent de façon sexuée et asexuées.
 - D) Comme ils n'ont pas de mitochondries, ils ne peuvent effectuer que la glycolyse.
20. Quels sont les constituants biochimiques primaires des parois des cellules bactériennes ?
- A) Protéines et glucides
 - B) Glucides et lipides
 - C) Lipides et protéines
 - D) Protéines et acides nucléiques

1^{er} groupe de solutions



Phénylalanine

1. **C** La phénylalanine, qui a une structure similaire à celle de la dopamine, agit comme inhibiteur compétitif de l'AAAD :

Rappelons que les inhibiteurs compétitifs ressemblent au substrat normal et entrent en compétition avec lui pour la liaison au site actif d'une enzyme. L'inhibition de l'AAAD par la phénylalanine peut être surmontée en ajoutant plus de tyrosine.

2. **A** La vitamine C augmente la vitesse de production de la méthanéphrine. Son action s'exerce de préférence sur un site autre que le site actif de l'enzyme. Cette action est dite activation allostérique ou contrôle allostérique positif. Le choix **B** est incorrect car un processus compétitif agit au site actif et inhibe plutôt qu'il n'augmente la production d'une substance. Les choix **C** et **D** sont incorrects car tous deux diminueraient la fabrication du produit.
3. **A** Le foie prélève le lactate dans la circulation et le métabolise en acétyl-CoA, lequel retourne au flux sanguin : c'est le cycle de Cori. La rate est principalement impliquée dans le stockage des vieilles hématies. Le rein produit une urine concentrée, il réabsorbe et excrète des solutés. L'hypophyse produit et libère des hormones.
4. **B** Le glucose est métabolisé en pyruvate dans la glycolyse. Le pyruvate perd un CO_2 pour former l'acétyl-CoA. Chaque acétyl-CoA entre dans le cycle de Krebs où il est décarboxylé. Par conséquent, le produit final des unités carbonées du glucose est le CO_2 .
5. **B** Le NADH transfère ses électrons aux protéines du transport des électrons lors de la phosphorylation oxydative. Rappelons que la phosphorylation oxydative implique la production d'ATP en utilisant l'énergie provenant des réactions redox de la chaîne de transport des électrons. Les protéines du transport des électrons ont des affinités accrues pour les électrons et la phosphorylation de l'ADP en ATP est associée au transfert des électrons d'une protéine à l'autre.
6. **D** La glycolyse se déroule dans le cytoplasme des cellules. La phosphorylation oxydative, le cycle de Krebs et le transport des électrons ont lieu dans la mitochondrie. La transcription s'effectue dans le noyau.
7. **D** Si l'étape finale du transport des électrons cesse (le transfert des électrons à la molécule d'oxygène pour former H_2O), le transport des électrons s'arrête. La glycolyse, la transformation du pyruvate en lactate et certaines réactions produisant de l'ATP ne dépendent pas de la présence d'oxygène.
8. **D** Les staphylocoques sont des bactéries sphériques trouvées en groupes. Les streptocoques sont des bactéries sphériques formant des chaînes ou des paires. Les bacilles sont des bactéries en forme de bâtonnet alors que les spirilles sont des bactéries de forme spiralée.
9. **C**, 10. **B**, 11. **C**

La clé, pour comprendre ces questions apparentées, est de connaître la règle des appariements des bases. Pour l'ADN, G se lie à C, alors que A se lie à T. Pour l'ARN, G se lie à C et A se lie à U. Notons aussi que l'ARNm est complémentaire

de l'ADN et que l'ARNt est complémentaire de l'ARNm. Par conséquent, pour cette série de questions :

ADN original	3' AAGGCTAGC 5'
ADN complémentaire	5' TTCCGATCG 3'
ARNm	3' AAGGCUAGC 5'
ADN original	3' AAGGCTAGC 5'
ARNm	5' UCCGAUCG 3'
ARNt	AAGGCUAGC

12. **D** Les eucaryotes peuvent répliquer l'ADN chromosomique à partir de plusieurs origines simultanément. Les choix de **A** à **C** sont des affirmations correctes.
13. **D** Alors que les eucaryotes et les bactéries ont de l'ADN à double brin, les virus ont d'autres formes de matériel génétique. Le matériel génétique des virus peut être soit de l'ADN, soit de l'ARN. De plus, les ADN ou ARN viraux peuvent être soit à simple brin soit à double brin, soit linéaires soit circulaires.
14. **B** Le réticulum endoplasmique granulaire (lié à des ribosomes) et l'appareil de Golgi sont généralement impliqués dans la production des protéines des membranes plasmiques. Rappelons que ces protéines sont souvent des glycoprotéines et qu'elles sont glycosylées dans l'appareil de Golgi. La transcription de l'ARNm a lieu dans le noyau et la traduction des protéines requiert l'ARNt. Les ribosomes libres ne sont pas nécessaires pour synthétiser les protéines des membranes cellulaires car les ribosomes impliqués dans la traduction de ces protéines sont intégrés au réticulum endoplasmique.
15. **A** Il n'y a pas de formation de fuseau chez les procaryotes (bactéries) car les bactéries n'utilisent pas la mitose pour se reproduire. Les procaryotes se reproduisent par fission binaire.
16. **D** Levures et moisissures sont des champignons. Les trois principaux types de champignons se distinguent par leur structure. Les moisissures sont des organismes filamenteux pluricellulaires. Les champignons charnus sont des organismes filamenteux pluricellulaires qui produisent un appareil reproducteur épais (charnu). Les levures sont des organismes non filamenteux, unicellulaires.
17. **A** La mitose est un processus de division cellulaire dans lequel des cellules diploïdes ($2n$) répartissent équitablement les chromosomes répliqués à chacune de leurs cellules filles diploïdes ($2n$). La croissance se produit lors de l'interphase. Une division active des cellules se déroule sur quatre autres phases, à savoir et dans l'ordre : prophase, métaphase, anaphase, télophase.
18. **D** Mitochondries, réticulum endoplasmique, lysosomes et noyau possèdent tous une bicouche lipidique. Le nucléole est fait d'ARNr et de protéines et ne possède pas de bicouche lipidique.
19. **D** Les champignons sont des eucaryotes et ont des organites limités par des membranes, dont des mitochondries. Ils peuvent être aussi haploïdes ou diploïdes et leur reproduction peut être soit sexuée, soit asexuée.
20. **A** La paroi des cellules bactériennes comporte essentiellement des protéines et des glucides. Les protéoglycanes, ossature principale de la paroi cellulaire, comportent des parts de glucides liées à de petites chaînes peptidiques.

Partie 1 : Biologie moléculaire et cellulaire**2^e groupe de questions**

1. Le site actif d'une enzyme est hydrophobe et chargé positivement. Un substrat qui se lie facilement au site actif est vraisemblablement :
 - A) hydrophile et chargé positivement.
 - B) hydrophile et chargé négativement.
 - C) hydrophobe et chargé positivement.
 - D) hydrophobe et chargé négativement.
2. La meilleure façon de décrire les cofacteurs d'enzyme est de dire que ce sont des :
 - A) substances non protéiques requises pour l'activité enzymatique.
 - B) petites molécules organiques non protéiques.
 - C) ions métalliques ou des coenzymes qui se lient étroitement à une enzyme.
 - D) catalyseurs.
3. La concentration en substrat dans un système enzymatique test s'accroît lentement jusqu'à des niveaux élevés. Lorsque la concentration du substrat augmente :
 - A) la vitesse de réaction augmente continuellement.
 - B) l'augmentation de la vitesse de réaction ralentit.
 - C) il y a une augmentation exponentielle suivie d'un plateau.
 - D) la vitesse de réaction ne change pas.
4. Laquelle des affirmations concernant les enzymes est fausse ?
 - A) De nombreuses enzymes ont un pH optimum différent.
 - B) De nombreuses enzymes ont une vitesse de réaction qui croît de façon linéaire lorsque la température augmente.
 - C) Les inhibiteurs compétitifs entrent en compétition avec le substrat en se liant au site actif de l'enzyme.
 - D) La liaison d'inhibiteurs non compétitifs hors du site actif le déforme.
5. Laquelle des affirmations concernant les enzymes ou les réactions enzymatiques catalysées est fausse ?
 - A) Les réactions enzymatiques sont réversibles.
 - B) La spécificité des substrats aux enzymes est absolue ou relative.
 - C) Les liaisons enzyme-substrat sont covalentes.
 - D) Les enzymes abaissent les énergies d'activation des réactions spontanées.
6. La respiration n'inclut pas :
 - A) la glycolyse.
 - B) la formation d'acétyl-CoA à partir du pyruvate.
 - C) le cycle de Krebs.
 - D) la phosphorylation oxydative.
7. Quel pourcentage de l'ATP total, engendré lors de la glycolyse et de la respiration complète du glucose, est produit par la phosphorylation oxydative ?
 - A) Moins de 15%
 - B) Environ 25%
 - C) Environ 75%
 - D) Plus de 85%

8. Quel est le résultat net de la glycolyse aérobie d'une mole de glucose en 2 moles de pyruvate ?
- A) $4 \text{ ATP} + 2 \text{ NADH} + 2 \text{ H}^+$
 - B) $2 \text{ ATP} + \text{NADH} + \text{H}^+$
 - C) $4 \text{ ATP} + 4 \text{ NADH} + 4 \text{ H}^+$
 - D) $2 \text{ ATP} + 2 \text{ NADH} + 2 \text{ H}^+$
9. Les hématies humaines n'ont pas de mitochondries. Par quel mécanisme métabolisent-elles le glucose ?
- A) La glycolyse
 - B) Le cycle de Krebs
 - C) La phosphorylation oxydative
 - D) Les trois propositions sont correctes
10. Sur le plan bioénergétique, pour l'oxydation de chaque mole d'acétate, le cycle de Krebs produit :
- A) 12 ATP.
 - B) 2 moles de NADH, 2 moles de FADH_2 , 2 moles de GTP.
 - C) 3 moles de NADH, 1 mole de FADH_2 , 1 mole de GTP.
 - D) 2 moles de NADH, 3 moles de FADH_2 .
11. Quelle enzyme catalyse l'étape à vitesse limitante lors de la glycolyse ?
- A) L'hexokinase
 - B) La pyruvate kinase
 - C) L'énolase
 - D) La phosphofructokinase
12. Dans les cellules eucaryotes, où le cycle de Krebs a-t-il lieu ?
- A) Le cytoplasme
 - B) La matrice des mitochondries
 - C) La membrane mitochondriale interne
 - D) La membrane mitochondriale externe
13. Dans le métabolisme cellulaire, les électrons sont enlevés du groupe acétyle de l'acétyl-CoA et incorporés dans des coenzymes réduits. Quel est le processus décrit ?
- A) La glycolyse
 - B) Le cycle de Krebs
 - C) La fermentation
 - D) La phosphorylation oxydative
14. Une molécule d'acétyl-CoA, marquée par un isotope à chacun de ses carbones, entre dans le cycle de Krebs. Après un tour de cycle, quel est le nombre de molécules de CO_2 radioactives produites ?
- A) 0
 - B) 1
 - C) 2
 - D) 3
15. Quelle base n'est pas pyrimidique ?
- A) Cytosine
 - B) Uracile

- C) Thymine
D) Adénine
16. Quelle équation, concernant les bases de l'ADN, n'est pas correcte ?
A) $A + G = T + C$
B) $G = C$
C) $A = T$
D) $A + T = G + C$
17. Dans l'ARN, quels types de liaison unissent un nucléotide à un autre ?
A) Des liaisons phosphodiester
B) Des liaisons glycosidiques
C) Des liaisons phosphate
D) Des liaisons hydrogène
18. Un petit segment d'ADN a la séquence suivante : dp-ACGGTAC-p. Si les extrémités 5' sont considérées à gauche des extrémités 3', quelles paires de bases sont antiparallèles au fragment d'ADN donné ?
A) Dp-TGCCATC-p
B) Dp-GTACCGT-p
C) Dp-ACGGTAC-p
D) Dp-TGCCTAG-p
19. Chez les mammifères, l'ADN est répliqué de telle sorte que l'ADN du descendant contienne :
A) des duplex des brins parentaux et des duplex de brins nouvellement synthétisés.
B) de l'ADN circulaire.
C) des duplex comprenant un brin parental et un brin nouvellement synthétisé.
D) uniquement des duplex de brins parentaux.
20. Quelle caractéristique n'est pas impliquée dans la réplication d'ADN humain ?
A) Des fragments d'Okasaki
B) La création d'amorce
C) La réplication continue d'ADN
D) La nécessité de synthèse d'ARN
21. Des quatre enzymes énumérées, quelles sont celles qui participent à la réplication de l'ADN ?
I. ADN ligase II. ADN polymérase III. Primase IV. Hélicase
A) I, II et IV
B) I et III
C) II et IV
D) I, II, III et IV
22. Quelle enzyme initie la réplication de l'ADN ?
A) L'ADN polymérase
B) La primase
C) L'ADN ligase
D) L'endonucléase

23. L'ARN et l'ADN présentent de nombreuses différences, tant en structure qu'en fonction. Cependant, l'ARN et l'ADN présentent des similitudes puisqu'ils contiennent, tous les deux, de façon classique :
- A) le même glucide.
 - B) les mêmes purines.
 - C) des brins antiparallèles complémentaires.
 - D) les mêmes pyrimidines.
24. Quel ADN aurait tendance à être le plus résistant à la dénaturation par la température ?
- A) L'ADN riche en G-C
 - B) L'ADN riche en A-T
 - C) L'ADN riche en purines
 - D) L'ADN riche en pyrimidines
25. La transcription implique :
- A) la formation de protéines.
 - B) une synthèse d'ARN de 3' à 5'.
 - C) une synthèse d'ARN à partir de chaque brin d'ADN.
 - D) la formation d'ARNm à partir d'un modèle d'ADN.

2^e groupe de solutions

1. **D** Les acides aminés hydrophobes du site actif d'une enzyme repoussent des substrats hydrophiles. Cependant, des substrats hydrophobes possédant une charge opposée sont fortement attirés.
2. **A** Les cofacteurs sont des substances non protéiques requises pour l'activité de certaines enzymes. Les ions métalliques et les coenzymes en font partie. La proposition B décrit les coenzymes. La proposition C décrit les groupements prosthétiques.
3. **B** Dans des réactions catalysées par des enzymes, la vitesse de réaction augmente lorsqu'on ajoute du substrat, jusqu'à ce qu'une vitesse maximale soit atteinte. Ensuite, il n'y a pas d'augmentation de vitesse lors de l'addition supplémentaire de substrat. De plus, la rapidité de changement de la vitesse de réaction chute lorsque la vitesse maximale est atteinte. L'enzyme a été « saturée » par le substrat.
4. **B** La plupart des enzymes présentent une sorte de courbe de vitesse de réaction parabolique lors d'une augmentation de température. Des températures élevées dénaturent les enzymes. Les propositions **A**, **C** et **D** sont toutes correctes.
5. **C** Les enzymes peuvent avoir des interactions absolues ou relatives avec des substrats (plusieurs substrats peuvent se lier à des enzymes). Les enzymes catalysent les réactions de façon réversible en abaissant l'énergie d'activation des réactions. Cependant, la liaison enzyme-substrat n'est pas covalente (liaisons hydrogène, ioniques, hydrophobes et interactions de van der Waals).
6. **A** La respiration correspond à la dégradation des produits de la glycolyse en CO_2 et H_2O , en utilisant l'oxygène comme accepteur final d'électrons. Par conséquent, la glycolyse ne fait pas partie de la respiration. La formation d'acétyl-CoA

à partir du pyruvate, le cycle de Krebs et la phosphorylation oxydative font tous partie de la respiration.

7. **D** Lors de la glycolyse, il y a un gain net de deux ATP (au total, 4 ATP sont produits, mais 2 ATP sont consommés). L'équivalent de 2 ATP (GTP) est produit dans le cycle de Krebs. Au total, 32 ATP sont produits par le transport des électrons et la phosphorylation oxydative de NADH et de FADH₂. Par conséquent, le pourcentage d'ATP produit par phosphorylation oxydative par rapport à l'ATP total produit par la glycolyse et la respiration du glucose est :

$$(32 \text{ ATP} / 36 \text{ ATP}) \times 100 = 88\%$$
8. **D** Quatre ATP sont directement produits par la glycolyse, mais 2 ATP sont utilisés pour permettre la phosphorylation du glucose en glucose-6-phosphate lors de la première étape de la glycolyse. Deux NADH et H⁺ sont engendrés lors de la glycolyse lorsque chacun des deux intermédiaires à trois carbones (triose-phosphates) du glucose est oxydé.
9. **A** La glycolyse peut avoir lieu dans les cellules de mammifères en l'absence de mitochondries car elle s'effectue dans le cytoplasme des cellules. Étant donné que les hématies n'ont pas de mitochondries, elles utilisent de façon extensive le métabolisme glycolytique pour produire de l'ATP.
10. **C** Le cycle de Krebs produit 6 NADH, 2 FADH₂ et 2 molécules de GTP par molécule de glucose métabolisée. La question concerne la bioénergétique correspondant à une mole d'acétate. La réponse est : 3 moles de NADH, 1 mole de FADH₂ et 1 mole de GTP.
11. **D** La phosphofructokinase phosphoryle de façon irréversible le fructose-6-phosphate en fructose-1,6-diphosphate. Elle catalyse la principale étape à vitesse limitante de la glycolyse. C'est aussi l'enzyme clé qui contrôle cette étape de la glycolyse. L'ATP agit comme modulateur allostérique négatif de la phosphofructokinase alors que l'ADP agit comme modulateur allostérique positif. Grâce à ce mécanisme, le produit final riche en énergie, de la glycolyse et de la respiration, à savoir l'ATP, peut contrôler l'activité de la glycolyse.
12. **B** La glycolyse a lieu dans le cytoplasme, alors que le cycle de Krebs se déroule dans la matrice mitochondriale. La phosphorylation oxydative se produit sur la membrane mitochondriale interne.
13. **B** Dans le cycle de Krebs, les électrons enlevés des groupements acétyle sont incorporés dans NADH et FADH₂.
14. **A** Cette question est difficile. Les deux carbones marqués de l'acétyl-CoA s'ajoutent aux quatre carbones de l'oxalo-acétate (OAA) pour donner du citrate, composé à six carbones. Les deux molécules de CO₂, perdues lors d'un tour du cycle de Krebs, ne sont pas les deux atomes de carbone apportés par l'acétyl-CoA. Ce sont des carbones qui appartenaient à l'OAA. Cependant, dans les tours suivants du cycle de Krebs, ces carbones radioactifs seront perdus.
15. **D** Les pyrimidines sont des bases azotées à un seul cycle (hexagonal). Les pyrimidines sont la cytosine, la thymine et l'uracile. Les purines sont des bases azotées à deux cycles (pentagonal + hexagonal) ; les purines sont l'adénine et la guanine.
16. **D** Dans l'ADN, la quantité de G doit être égale à celle de C, car ces deux bases sont liées l'une à l'autre par des liaisons hydrogène, dans les brins complémentaires. De plus, la quantité de A doit être égale à celle de T, pour la même raison que

dans le cas précédent. Par conséquent, $G = C$ et $A = T$ et $A + G = T + C$. Cependant, $A + T \neq G + C$.

17. **A** Une liaison glycosidique lie une base à un pentose (ribose). Une liaison phosphodiester unit un nucléoside à l'acide phosphorique. Les liaisons hydrogène relient deux brins d'ADN.
18. **B** Une disposition antiparallèle correspond à une orientation inverse des brins. Par conséquent, si un brin est orienté dans le sens 5' à 3', l'orientation antiparallèle est 3' à 5'. La question spécifie que le côté gauche du fragment d'ADN donné (dp) est le côté 5'. Cherchons une réponse qui soit antiparallèle à la séquence d'ADN donnée. Le choix **B** est complémentaire à la séquence d'ADN proposée. L'affirmation fournie est : 5' ACGGTAC 3'
3' TGCCATG 5'
19. **C** La proposition C décrit une réplication semi-conservative, modèle admis pour la réplication de l'ADN chez les eucaryotes. Une réplication semi-conservative produit des molécules d'ADN filles contenant un brin d'ADN parental apparié à un brin d'ADN nouvellement synthétisé. Une réplication d'ADN conservative n'est pas le modèle accepté pour la réplication de l'ADN. Dans ce modèle, une molécule parentale intacte et une molécule d'ADN complètement nouvelle résulteraient de la réplication. La proposition **B** est incorrecte car l'ADN circulaire est trouvé chez les bactéries et non chez les mammifères. Le choix **A** est incorrect car il décrit une réplication conservative. Le choix **D** est incorrect, car on ne connaît pas de mécanisme par lequel un descendant ne reçoit que des brins parentaux.
20. **C** Chez les humains, la réplication de l'ADN est discontinue. L'un des brins d'ADN (ou les deux) peut être synthétisé par morceaux appelés fragments d'Okasaki. Ces fragments sont ensuite soudés pour former un brin continu. La réplication de l'ADN requiert plusieurs étapes distinctes :
 - 1) déroulement de l'ADN parental (hélicase)
 - 2) création d'amorces de l'ARN (primase)
 - 3) croissance de l'ADN en direction 5' à 3' en commençant à l'extrémité 3' de l'amorce (ADN polymérase)
 - 4) excision des amorces de l'ARN (exonucléase)
 - 5) union des fragments d'Okasaki pour donner un brin d'ADN continu (ADN ligase)
21. **D** La primase synthétise l'amorce de l'ARN. L'ADN polymérase ajoute des bases désoxyribonucléotidiques à l'extrémité 3' de l'amorce. L'exonucléase enlève alors l'amorce, l'ADN polymérase comble les lacunes et l'ADN ligase unit les fragments d'Okasaki restants pour rendre les brins d'ADN continus.
22. **B** La primase doit placer les amorces d'ARN avant que les bases désoxyribonucléotidiques puissent être ajoutées par l'ADN polymérase.
23. **B** La meilleure façon de comprendre les similitudes et les différences existant entre l'ADN et l'ARN est de réaliser un tableau pour comparer ces deux molécules.

	ARN	ADN
Glucide	ribose	désoxyribose
Purines	A, G	A, G
Brins	habituellement un	habituellement deux
Pyrimidines	C, U	C, T

24. **A** Les paires de bases G-C ont trois liaisons hydrogène alors que les paires de bases A-T en ont deux. Les liaisons hydrogène apportent stabilité et résistance à la dénaturation. Par conséquent, l'ADN riche en G-C est plus stable et plus thermorésistant que l'ADN possédant des A-T.
25. **C** La transcription implique la synthèse d'ARNm, d'ARNr et d'ARNt à partir de l'ADN. Elle a lieu dans le sens 5' vers 3' et peut utiliser chaque brin d'ADN. Les liaisons hydrogène entre l'ARN nouvellement synthétisé et l'ADN parental sont faibles et permettent la dissociation.

Partie 1 : Biologie moléculaire et cellulaire

3^e groupe de questions

- Quelle est, de ces affirmations, celle qui fournit la meilleure explication au fait que le code génétique soit considéré comme dégénéré ?
 - Un codon peut coder pour plusieurs acides aminés.
 - Des codons codent pour des acides aminés.
 - Les acides aminés peuvent former une grande variété de protéines.
 - La plupart des acides aminés ont plusieurs codons.
- Quel ARN contient, de façon caractéristique, le moins de nucléotides ?
 - L'ARNr
 - L'ARNt
 - L'ARNm
 - Tous les types d'ARN contiennent le même nombre de nucléotides.
- Quelle étape de la traduction ne consomme pas de liaison phosphate riche en énergie ?
 - La liaison de l'ARNt-aminoacyl (ARNt initiateur) au ribosome
 - La réaction catalysée par la peptidyltransférase
 - L'activation de l'acide aminé
 - La translocation
- Un peptide est en cours de synthèse sur un ribosome. Après qu'un nouvel acide aminé se soit lié au peptide en cours d'élongation par une liaison peptidique, le peptide :
 - glisse du site « A » au site « P ».
 - glisse du site « P » au site « A ».
 - reste au site « A », prêt à accepter un nouvel acide aminé.
 - reste au site « P », prêt à accepter un nouvel acide aminé.
- Quel type d'ARN n'est pas nécessaire à la traduction dans la cellule ?
 - L'ARNt
 - L'ARNr
 - L'ARNm
 - Aucun de ceux-ci. Les trois types d'ARN (ARNt, ARNr et ARNm) sont nécessaires à la traduction.

6. Quelle affirmation décrit la principale fonction du nucléole ?
 - A) Le nucléole dirige les activités de transcription du noyau.
 - B) Le nucléole coordonne la réplication de l'ADN chromosomique.
 - C) Le nucléole synthétise les constituants de la membrane nucléaire.
 - D) Le nucléole synthétise l'ARN ribosomique.
7. Si un fragment d'une séquence de base d'ADN est G-A-T, la séquence anticodon, complémentaire de l'ARNm de cette séquence d'ADN, est :
 - A) G-A-T.
 - B) C-U-A.
 - C) G-A-U.
 - D) G-U-A.
8. Une caractéristique commune aux chromosomes des cellules procaryotes et eucaryotes est :
 - A) la présence d'ADN et d'histones en quantités à peu près égales.
 - B) des molécules d'ADN circulaires.
 - C) l'implication d'ADN polymérase dans la réplication du chromosome.
 - D) la présence des pyrimidines uracile et cytosine.
9. L'ATP est un composé chimique classé comme un :
 - A) nucléoside.
 - B) nucléotide.
 - C) acide nucléique.
 - D) désoxyriboside.
10. *Escherichia coli* est une bactérie intestinale commune. On peut s'attendre à ce que la taille d'une cellule d'*E. coli* typique soit à peu près celle d'un (d'une):
 - A) hépatocyte humain.
 - B) polyribosome.
 - C) amibe.
 - D) mitochondrie.
11. Entre toutes les cellules procaryotes et eucaryotes, il existe une différence fondamentale : les cellules procaryotes n'ont pas de :
 - A) paroi cellulaire.
 - B) membrane plasmique.
 - C) chromosome.
 - D) enveloppe nucléaire.
12. Le squelette d'un simple brin d'ARN est constitué de l'alternance de :
 - A) glucides et d'hydrogènes.
 - B) hydrogènes et de bases azotées.
 - C) bases azotées et de glucides.
 - D) rien de tout cela.
13. Un organite cellulaire, trouvé à la fois chez les souris et les bactéries est :
 - A) la mitochondrie.
 - B) l'appareil de Golgi.
 - C) le ribosome.
 - D) le réticulum endoplasmique lisse.

14. Dans la respiration cellulaire, les étapes anaérobies de la glycolyse ont lieu dans :
- A) le cytoplasme.
 - B) les lysosomes.
 - C) le noyau.
 - D) les mitochondries.
15. À partir de quelle molécule une cellule peut-elle extraire la plus grande quantité d'énergie par les voies normales de la respiration cellulaire ?
- A) Le FADH_2
 - B) L'ATP
 - C) Le NADH
 - D) L'acide pyruvique
16. On sait que certaines hormones agissent au niveau de sites récepteurs situés à la surface des membranes cellulaires pour inciter une substance intracellulaire à modifier l'activité de la cellule cible. Cette substance intracellulaire est appelée second messenger. Quel est ce médiateur intracellulaire ?
- A) L'adényl cyclase
 - B) L'ARN
 - C) La ribonucléase
 - D) L'AMPc
17. L'oxydation des molécules est essentielle à la libération d'énergie sous une forme utilisable par les cellules. Toutes les oxydations cellulaires ont en commun :
- A) l'addition d'oxygène.
 - B) l'élimination d'eau.
 - C) l'élimination d'hydrogène.
 - D) l'élimination d'électrons.
18. Des cellules sont cultivées sur un milieu contenant de l' N^{15} pendant de nombreuses générations, puis sont transférées sur un milieu contenant du N^{14} . Après combien de générations l'ADN cellulaire contiendra-t-il 6,25% d' N^{15} ?
- A) Une
 - B) Deux
 - C) Trois
 - D) Quatre
19. Quelles bactéries ont la forme de bâtonnet ?
- A) Les bacilles
 - B) Les spirilles
 - C) Les coques
 - D) Aucun d'entre eux
20. Une certaine lignée bactérienne a un ADN qui contient 80% de [G + C]. Quel est le pourcentage de « A » et de « U » transcrits, à partir de chaque brin, dans l'ARNm ? Supposons que l'ADN qui code pour l'ARNm respecte la composition indiquée.
- A) 10%
 - B) 20%
 - C) 40%
 - D) 60%

3^e groupe de solutions

1. **D** On considère que le code génétique est dégénéré parce que plusieurs codons différents peuvent coder pour un seul acide aminé.
2. **B** Les molécules d'ARNt contiennent environ 75-80 nucléotides, les ARNr et ARNm contiennent souvent 1 000-3 000 nucléotides. Les ARNr sont assez grands car ils constituent la structure des ribosomes (en association avec des protéines). Les ARNm ont de nombreux nucléotides car ils codent pour les protéines.
3. **B** Seule la réaction impliquant la peptidyltransférase ne requiert pas d'énergie. La liaison de l'ARNt-aminoacyl au ribosome met en jeu des facteurs d'initiation et de l'énergie (GTP). L'activation de l'acide aminé requiert de l'énergie (le clivage de l'ATP en AMP et PPi). La translocation exige un facteur d'élongation et de l'énergie (GTP).
4. **A** Les nouveaux acides aminés liés aux ARNt viennent au site « A » alors que le peptide en cours d'élongation demeure au site « P ». Une liaison peptidique se forme entre le peptide et l'acide aminé situé au site « A ». Le peptide se détache de l'ARNt lié au site « P ». L'ensemble formé par le nouveau peptide lié à l'ARNt du dernier acide aminé arrivé quitte le site « A » pour passer au site « P », chassant de ce fait l'ARNt précédent. Cette translocation permet à un nouveau codon, positionné au site « A », d'être traduit.
5. **D** L'ARNt est nécessaire pour apporter les acides aminés au ribosome, en respectant la spécificité dictée par l'ARNm. L'ARNr est un constituant critique du ribosome. L'ARNm code pour le peptide qui doit être traduit.
6. **D** Le nucléole est impliqué dans la synthèse des ribosomes. On le trouve dans le noyau de la cellule. Le nucléole synthétise activement l'ARNr et facilite la production du ribosome. Avec l'aide du nucléole, une cellule active peut produire des milliers de ribosomes par minute.
7. **C** Si la séquence d'ADN est G-A-T, la séquence d'ARNm est C-U-A, et la séquence anticodon complémentaire de l'ARNm est G-A-U.
8. **C** Procaryotes et eucaryotes ont besoin d'ADN polymérase pour répliquer l'ADN. Les eucaryotes possèdent plus d'ADN, des histones et des protéines non histoniques pour emballer l'ADN, et une enveloppe nucléaire. Les procaryotes ont souvent un seul chromosome circulaire, un ADN moins emballé et moins condensé, pas d'histones et pas d'enveloppe nucléaire.
9. **B** L'ATP (adénosine triphosphate) est un nucléotide. Les nucléotides comportent une base azotée, un glucide et un résidu phosphate. Les nucléosides (e.g., l'adénosine) n'ont qu'une base et un glucide.
10. **D** Une cellule bactérienne a, environ, la taille d'une mitochondrie. Dans une théorie bien connue, des scientifiques ont suggéré que les mitochondries avaient évolué à partir des bactéries à cause des similitudes existant entre l'ADN bactérien et l'ADN mitochondrial.
11. **D** Il n'y a pas d'organites limités par une membrane ou de membranes nucléaires chez les procaryotes. La proposition **A** est incorrecte car les cellules procaryotes (bactéries) ont des parois cellulaires. Les propositions **B** et **C** sont incorrectes car les cellules procaryotes ont aussi une membrane plasmique et un seul chromosome circulaire.

Hidden page

3. Une caractéristique typique d'un système porte est que :
 - A) il traverse un réseau de capillaires.
 - B) des veines se ramifient en capillaires.
 - C) des artères se ramifient en veines.
 - D) il se déverse dans le système lymphatique.
4. Lors de la digestion des glucides, les disaccharides sont transformés en monosaccharides par apport de :
 - A) oxygène.
 - B) hydrogène.
 - C) NADH.
 - D) eau.
5. Quelle protéine n'est pas impliquée dans la digestion ou le métabolisme des glucides ?
 - A) L'amylase
 - B) La maltase
 - C) L'insuline
 - D) Aucune de celles-ci ; toutes sont impliquées.
6. L'activité digestive du duodénum s'effectue :
 - A) à pH acide.
 - B) dès que la pepsine a transformé toutes les protéines en acides aminés.
 - C) après que le pancréas ait libéré du bicarbonate.
 - D) après que le pancréas ait libéré de la sécrétine.
7. Le déplacement du contenu du tube digestif humain est caractérisé par des ondes de contraction unidirectionnelles, oro-anales, connues sous le terme de :
 - A) péristaltisme.
 - B) ondes de progression postérieures.
 - C) ondes péricoliques.
 - D) régurgitation.
8. Les trois principaux segments de l'intestin grêle sont, dans l'ordre de leur traversée :
 - A) duodénum, iléon, jéjunum.
 - B) duodénum, colon ascendant, iléon.
 - C) duodénum, jéjunum, iléon.
 - D) duodénum, iléon, colon ascendant.
9. Un problème médical couramment rencontré est le blocage, par un calcul biliaire, de l'écoulement de la bile allant de la vésicule biliaire à l'intestin. Un des résultats de ce blocage est une mauvaise absorption des :
 - A) protéines.
 - B) lipides.
 - C) glucides.
 - D) vitamines hydrosolubles.
10. Dans le corps, les échanges gazeux, entre chaque cellule et son environnement immédiat, dépendent :
 - A) d'une diffusion simple.

- B) d'un phénomène d'osmose.
 - C) d'une diffusion facilitée
 - D) d'un transport actif
11. Quelle structure n'est pas impliquée dans l'accroissement de la surface d'un organe ou d'une cellule ?
- A) Les alvéoles
 - B) Les villosités
 - C) Les capillaires
 - D) Aucun de ceux-ci
12. Où l'essentiel des échanges gazeux pulmonaires a-t-il lieu ?
- A) Dans la trachée
 - B) Dans les bronches
 - C) Dans les bronchioles
 - D) Dans les alvéoles
13. Lors de la déglutition, par quel moyen le larynx empêche-t-il la nourriture de progresser vers les poumons ? Grâce :
- A) à l'épiglotte.
 - B) au pharynx.
 - C) à la trompe d'Eustache.
 - D) à l'œsophage.
14. Quelle cavité cardiaque contient le sang le plus oxygéné ?
- A) Le ventricule gauche
 - B) Le ventricule droit
 - C) L'oreillette gauche
 - D) L'oreillette droite
15. La masse du myocarde augmente en réponse à une résistance accrue ou à l'exercice. En considérant que les ventricules droit et gauche sont les principaux compartiments de pompage, lequel doit avoir la paroi la plus épaisse ?
- A) Le ventricule droit
 - B) Le ventricule gauche
 - C) Ni l'un ni l'autre ne sera plus épais que les oreillettes.
 - D) Ils auront la même épaisseur car chacun pompe un volume égal de sang.
16. Dans quelle région du cœur, l'onde déclenchant sa contraction prend-elle normalement naissance ?
- A) Le nœud auriculo-ventriculaire
 - B) Le nœud sino-auriculaire
 - C) Les fibres de Purkinje
 - D) Le faisceau de His
17. Que fait le cœur lors de la systole ?
- A) Il se relâche et se remplit
 - B) Il se contracte
 - C) Il se relâche et ensuite se contracte
 - D) Il se repose en attendant l'ordre du nœud A-V

18. Chez un être humain de taille moyenne, quelle quantité de sang le cœur pompe-t-il environ par minute ?
 - A) 3 litres
 - B) 5 litres
 - C) 7 litres
 - D) 9 litres
19. Les échanges de liquide et de nutriments au travers de la paroi des capillaires dépendent de deux forces soigneusement équilibrées, à savoir les pressions hydrostatique et oncotique. À quoi peut-on s'attendre si, dans les vaisseaux, la pression hydrostatique dépasse de loin la pression oncotique ?
 - A) une augmentation du volume intravasculaire
 - B) une augmentation du volume interstitiel
 - C) une diminution du volume interstitiel
 - D) A et C
20. L'augmentation d'une protéine intravasculaire, telle que l'albumine, provoquera vraisemblablement :
 - A) une augmentation du volume intravasculaire.
 - B) une augmentation du volume interstitiel.
 - C) une diminution du volume interstitiel.
 - D) A et C.
21. Un léger déséquilibre entre les pressions oncotique et hydrostatique existe chez tout le monde, entraînant une légère perte de liquide lorsque le sang traverse le lit capillaire. Si cette perte n'est pas maîtrisée, le liquide circulant diminue et les tissus gonflent. L'organisme prévient ce problème potentiel en :
 - A) diminuant la pression hydrostatique.
 - B) augmentant la pression oncotique.
 - C) résorbant l'excès par le système lymphatique
 - D) augmentant le retour veineux au cœur.
22. Quel composé est le tampon biologique le plus important du plasma ?
 - A) Phosphate
 - B) Bicarbonate
 - C) Sulfate
 - D) Carbonate
23. Les principales fonctions de la rate sont :
 - A) stockage et destruction des hématies et fonction immunitaire.
 - B) synthèse d'enzymes digestives et fonction immunitaire.
 - C) filtrage du sang pour éliminer les toxines, et stockage des hématies, destruction des hématies, ou les deux.
 - D) fonction immunitaire et production d'insuline.
24. Quelle protéine possède une coopérativité allostérique positive ?
 - A) Albumine
 - B) Hémoglobine
 - C) Fibrine
 - D) Myoglobine

25. Le sang qui irrigue le foie est drainé par :

- A) la veine porte.
- B) les veines hépatiques.
- C) les veines ombilicales.
- D) la veine porte hépatique.

4^e groupe de solutions

1. **D** Les deux systèmes portes bien connus du corps des mammifères sont le système porte hépatique et le système porte hypothalamo-hypophysaire. Le système porte hépatique connecte le réseau de capillaires localisé dans l'intestin au réseau de capillaires situé dans le foie par la veine porte. Les facteurs de libération (libérines ou statines), produits par l'hypothalamus, sont transportés à l'hypophyse antérieure par le système porte hypothalamo-hypophysaire.
2. **C** Lors de la mastication, la salive se mélange aux aliments. La salive contient de nombreux constituants comme, par exemple, des anticorps, des protéines antibactériennes et des enzymes digestives telle que l'amylase salivaire. Cette enzyme entame la digestion des glucides.
3. **B** Par définition, un système porte comporte deux lits de capillaires connectés par un réseau veineux. Par conséquent, son organisation est : artère — capillaires — veine — capillaires — veine.
4. **D** L'hydrolyse de la liaison glycosidique entre les résidus glucidiques requiert de l'eau.
5. **D** Toutes ces protéines sont impliquées dans la digestion, ou le métabolisme, des glucides. L'amylase agit sur des polysaccharides alors que la maltase intervient sur un disaccharide, le maltose. L'insuline facilite le prélèvement du glucose par les cellules et, par conséquent, diminue la glycémie.
6. **C** L'acidité du chyme gastrique est neutralisée par la libération de bicarbonate venant du pancréas. La libération du bicarbonate est stimulée par la sécrétine (une hormone) produite par des cellules endocrines de la muqueuse duodénale.
7. **A** L'activité péristaltique est contrôlée par le système nerveux végétatif. Le péristaltisme fait progresser les aliments le long du tube digestif. En ce qui concerne les autres propositions, deux sont des termes inventés (ondes de progression postérieures, ondes péricoliques) et la troisième est incorrecte (régurgitation).
8. **C** Cette proposition donne la relation anatomique correcte : le duodénum mène au jéjunum puis à l'iléon. Le gros intestin suit, avec ses quatre régions qui sont dans l'ordre : les colons ascendant, transverse, descendant et sigmoïde. Finalement, le rectum aboutit à l'extrémité du tube digestif : l'anus.
9. **B** La bile émulsifie les graisses contenues dans le tube digestif. Dès qu'elle est libérée par la vésicule biliaire, sous le contrôle de la cholécystokinine (une hormone), la bile est déversée dans l'intestin grêle par le canal cholédoque et se mélange au bol alimentaire. Les graisses émulsifiées sont partiellement digérées et absorbées par l'intestin grêle.
10. **A** Les échanges gazeux s'effectuent par diffusion simple.
11. **D** Les alvéoles sont sphériques et augmentent considérablement la surface d'échange des gaz dans les poumons. Les villosités et les microvillosités augmen-

tent énormément la surface absorbante de l'intestin grêle. Finalement, les capillaires augmentent fortement la surface d'échange des gaz, de transfert des nutriments, de thermorégulation et d'autres fonctions assumées par la circulation.

12. **D** Bien que des échanges gazeux limités puissent avoir lieu dans les bronchioles terminales et respiratoires, la majorité de ces échanges s'effectue, et de loin, dans les alvéoles.
13. **A** Le pharynx correspond à l'espace situé en arrière de la cavité nasale, de la cavité buccale et du larynx. Le larynx renferme les cordes vocales. L'épiglotte ferme la voie d'entrée dans la trachée lors de chaque déglutition. Cette fermeture empêche la nourriture de pénétrer dans les voies aériennes inférieures.
14. **C** Dans le cœur, le sang le mieux oxygéné est trouvé dans la cavité où il revient après son passage dans les poumons, l'oreillette gauche. Une certaine quantité d'oxygène est absorbée par le myocarde et, par conséquent, le sang qui entre dans le ventricule gauche, en venant de l'oreillette gauche, a une teneur en oxygène légèrement plus faible.
15. **B** Le côté gauche du cœur doit chasser le sang au travers du circuit présentant la résistance la plus élevée car la circulation systémique possède les réseaux capillaires les plus vastes. Le travail supplémentaire, dû à la nécessité de vaincre cette résistance, est à l'origine de la forte épaisseur de la paroi ventriculaire gauche.
16. **B** Chez les humains, le nœud sino-auriculaire (NSA), pacemaker (stimulateur) principal du cœur, donne naissance à environ 100 battements par minute. Le système nerveux parasympathique a un effet modérateur sur le NSA et réduit sa vitesse de production des potentiels d'action à environ 70/min. Le nœud auriculo-ventriculaire (NAV) se trouve à la jonction de l'oreillette droite et du ventricule droit : c'est un pacemaker en second. Son rythme intrinsèque est de 40-50/min. Les fibres de Purkinje sont des myocytes cardiaques capables, elles aussi, d'avoir une activité rythmique spontanée de 20-30/min. En règle générale, le pacemaker, qui présente l'activité la plus élevée, impose son activité rythmique à l'ensemble du cœur : c'est donc le NSA qui joue ce rôle. Le faisceau de His conduit les potentiels d'action du NAV aux ventricules droit et gauche.
17. **B** Une systole correspond à une contraction du cœur alors qu'une diastole correspond à son relâchement et au remplissage des cavités.
18. **B** Chez un être humain de taille moyenne, le cœur pompe environ 5 litres de sang par minute, au repos.
19. **B** L'augmentation de la pression hydrostatique fait sortir le liquide du vaisseau vers les espaces interstitiels.
20. **D** Les propositions **A** et **C** sont correctes. L'augmentation de la teneur du plasma en une catégorie de protéine augmente la pression oncotique. Cette augmentation tend à maintenir le liquide dans les vaisseaux et à attirer le liquide présent dans les espaces interstitiels vers la lumière des vaisseaux.
21. **C** Les vaisseaux lymphatiques collectent le liquide excédentaire qui s'accumule dans les espaces interstitiels et le ramène finalement à la circulation veineuse.
22. **B** Le bicarbonate est le principal système tampon du plasma.
23. **A** La rate contient des lymphocytes, qui jouent un rôle important dans l'immunité. Le rôle essentiel de la rate est de stocker et de détruire les vieilles hématies.

qui doivent être éliminées. Le pancréas renferme les îlots de Langerhans qui produisent, entre autres, de l'insuline. Le pancréas produit aussi des enzymes digestives et du bicarbonate. Le foie est le principal organe responsable de la « filtration » du sang et de l'élimination des toxines.

24. **B** L'hémoglobine est la seule protéine citée qui possède une coopérativité allostérique positive. Ce terme fait allusion au fait que la liaison d'une molécule d'oxygène facilite la liaison de la molécule d'oxygène suivante. L'hémoglobine possède cette propriété car c'est une protéine complexe faite de quatre sous-unités. L'albumine est une protéine plasmatique qui se lie à des hormones et à des drogues. Elle ne présente pas de coopérativité. La fibrine est une protéine qui participe à la coagulation. La myoglobine est le pigment respiratoire du tissu musculaire et ne possède qu'une sous-unité. Elle ne présente pas de coopérativité.
25. **B** La veine porte transporte le sang du lit capillaire intestinal au lit capillaire hépatique sans passer par une artère. Les veines hépatiques (sus-hépatiques) ramènent le sang, filtré par le foie, à la veine cave inférieure puis au cœur.

Partie 2 : Physiologie

5^e groupe de questions

- Une pression hydrostatique accrue dans la capsule de Bowman tend à :
 - augmenter la filtration glomérulaire.
 - augmenter la réabsorption des acides aminés et du glucose.
 - augmenter la réabsorption dans le tube contourné proximal.
 - diminuer la filtration glomérulaire.
- Une drogue qui bloque le transport actif dans le néphron :
 - ne diminuerait que la réabsorption du Na^+ .
 - ne diminuerait que la réabsorption du Cl^- .
 - augmenterait l'excrétion de l' H^+ .
 - entraînerait la production d'une urine isotonique.
- L'aldostérone (hormone) agit principalement au niveau :
 - du tube contourné proximal.
 - de l'anse de Henlé.
 - du tube contourné distal.
 - du tube collecteur.
- L'urine s'écoule dans les uretères en venant :
 - de la vessie urinaire.
 - du bassinot.
 - de l'urètre.
 - des tubes collecteurs.
- Les leucocytes comprennent :
 - les érythrocytes, les granulocytes basophiles, les granulocytes neutrophiles.
 - les granulocytes neutrophiles, les granulocytes basophiles, les granulocytes éosinophiles.
 - les lymphocytes, les érythrocytes, les granulocytes basophiles.
 - les plaquettes, les lymphocytes, les granulocytes basophiles.

6. Chez une personne normale quelle est, en pourcentage, la substance qui est la plus réabsorbée par les reins ?
- A) L'eau
 - B) Le glucose
 - C) L'urée
 - D) Le sodium
7. Quelle description du système nerveux végétatif est fausse ?
- A) Il met en jeu les systèmes nerveux central et périphérique.
 - B) La partie parasympathique contrôle toutes les fonctions viscérales de base.
 - C) Ses ordres moteurs sortent par les racines ventrales des nerfs spinaux ou par les nerfs crâniens.
 - D) Il contrôle les fonctions viscérales sur lesquelles le contrôle volontaire est limité.
8. Un chercheur réalise des expériences pour essayer de caractériser les potentiels d'action engendrés par des neurones. En ce qui concerne les propriétés fondamentales des potentiels d'action, quelle serait la découverte la moins vraisemblable ?
- A) les potentiels d'action présenteraient une amplitude constante.
 - B) les potentiels d'action seraient engendrés dans les fibres nerveuses à une certaine fréquence maximale.
 - C) les potentiels d'action ne se propageraient sur les fibres nerveuses que de façon unidirectionnelle.
 - D) les potentiels d'action provoqueraient la libération de neurotransmetteur à l'extrémité des fibres nerveuses.
9. L'ablation chirurgicale du colon chez un être humain pourrait provoquer :
- A) une insuffisance protéique.
 - B) une insuffisance calorique.
 - C) une diarrhée.
 - D) une constipation.
10. L'allongement des os longs se produit :
- A) dans la moelle osseuse.
 - B) dans la plaque épiphysaire.
 - C) dans le périoste.
 - D) dans la membrane synoviale.
11. Quelle affirmation concernant le cycle reproducteur humain est vraie ?
- A) Un rétrocontrôle négatif maintient les taux d'hormone lutéinisante presque constants.
 - B) La progestérone inhibe la libération de FSH.
 - C) Une rétroaction négative, par des nerfs allant des ovaires à l'encéphale, contrôle la libération de FSH par l'hypophyse.
 - D) L'ovulation est déclenchée par une stimulation externe telle que la copulation.
12. Laquelle de ces propositions est une fonction de la peau humaine ?
- A) La thermorégulation
 - B) L'expression émotionnelle
 - C) L'expression des caractères sexuels secondaires

- D) Toutes ces affirmations sont vraies.
13. Un malade atteint d'une tumeur hypophysaire peut présenter une polyurie (production excessive d'urine) à la suite d'une :
- A) diminution de la libération d'angiotensine.
 - B) diminution de la libération d'aldostérone.
 - C) diminution de la libération d'ADH.
 - D) augmentation de la libération d'ADH.
14. La formation d'un caillot sanguin met en jeu une réaction complexe faisant intervenir les plaquettes, des facteurs de la coagulation et d'autres protéines du plasma. La protéine finale impliquée dans la formation d'un caillot fibreux définitif est :
- A) la thrombine.
 - B) la fibrine.
 - C) la prothrombine.
 - D) la plasmine.
15. Le principal vaisseau lymphatique qui se déverse dans la veine sous-clavière est le :
- A) canal lacté.
 - B) canal biliaire commun.
 - C) canal thoracique.
 - D) canal lymphatique.
16. Le corps humain a besoin d'un apport constant de protéines pour survivre. Par conséquent, le système digestif est très efficace en ce qui concerne la digestion et l'absorption des protéines. La partie du tube digestif qui entame la digestion des protéines est :
- A) la bouche.
 - B) l'estomac.
 - C) le duodénum.
 - D) le jéjunum, l'iléon, ou les deux.
17. Quelle hormone augmente la glycémie et accélère le rythme cardiaque ?
- A) L'insuline
 - B) L'acétylcholine
 - C) L'adrénaline
 - D) La cortisone
18. Quelle glande, dérivée de l'ectoderme, contient un tissu nerveux ?
- A) La corticosurrénale
 - B) La thyroïde
 - C) L'antéhypophyse
 - D) La médullosurrénale
19. Le plus petit os du corps humain est trouvé dans :
- A) l'oreille moyenne.
 - B) le nasopharynx.
 - C) la main.
 - D) le genou.

20. Quelle voie nerveuse est la plus longue ?
A) Parasympathique postganglionnaire
B) Parasympathique préganglionnaire
C) Sympathique postganglionnaire
D) Sympathique préganglionnaire
21. Les ions calcium jouent un rôle important dans :
A) la fonction terminale des fibres nerveuses.
B) la contraction musculaire.
C) le potentiel d'action du muscle cardiaque.
D) toutes ces propositions sont correctes.
22. Le système rénine - angiotensine fait intervenir plusieurs systèmes d'organes du corps. Il joue un rôle important en :
A) contrôlant la pression artérielle.
B) maintenant les systèmes tampons.
C) régulant la sécrétion d'acétylcholine.
D) régulant la glycémie et les lipides du sang.
23. Quelle phase de la physiologie osseuse est généralement associée aux ostéocytes ?
A) La formation de l'os
B) La résorption de l'os
C) L'entretien de l'os
D) La conversion de l'os en cartilage.
24. Quelle affirmation décrit le mieux les voies nerveuses associées au système visuel ?
A) Les voies donnent naissance aux réflexes visuels et aux voies interprétatives.
B) Les voies donnent naissance aux voies interprétatives associées au cortex des lobes temporaux.
C) Les voies donnent naissance aux réflexes visuels associés le plus souvent au cervelet.
D) Toutes les propositions ci-dessus sont correctes.
25. Si les racines dorsales de la moelle épinière sont sectionnées, mais que les racines ventrales soient intactes, quelle caractéristique est théoriquement la moins perturbée ?
A) La sensation
B) Les réflexes monosynaptiques
C) Les mouvements volontaires
D) Toutes les propositions sont fausses

5^e groupe de solutions

1. **D** L'augmentation de la pression hydrostatique dans la capsule de Bowman crée une « pression de retour » supérieure vers le capillaire, diminuant de ce fait la filtration du liquide venant du glomérule.
2. **D** Étant donné que le transport actif d'ions dans le néphron permet à l'eau de suivre passivement, le blocage des mécanismes de transport actif enlève au néphron la capacité de concentrer l'urine. L'urine deviendrait alors isotonique au plasma.

3. **C** L'aldostérone, hormone produite par les corticosurrénales, agit sur les cellules du tube contourné distal du néphron pour augmenter l'excrétion du potassium et diminuer les pertes de sodium dans l'urine.
4. **B** Dès que l'urine est formée dans les néphrons, elle s'écoule, grâce aux tubes collecteurs des pyramides rénales, dans le bassinet. De là, elle entre dans les uretères et finalement arrive dans la vessie urinaire. Elle quitte le corps par l'urètre.
5. **B** Les globules blancs, ou leucocytes, comprennent les granulocytes neutrophiles, basophiles, éosinophiles (acidophiles), les lymphocytes et les monocytes. Les granulocytes doivent leur nom au fait qu'au microscope, on observe des granules dans leur cytoplasme. Les granulocytes procurent une immunité non spécifique contre les envahisseurs étrangers tels que les bactéries et les parasites (sans qu'il y ait besoin d'anticorps ou de reconnaissance spécifique). Les lymphocytes fournissent une immunité spécifique contre les bactéries, les virus et les tumeurs. Les monocytes activés migrent dans les tissus et deviennent des macrophages.
6. **B** En principe, tout le glucose, qui est librement filtré par le glomérule, est réabsorbé dans le tube contourné proximal par un mécanisme de diffusion facilitée. Bien qu'une grande quantité d'eau, d'urée et de sodium soit réabsorbée, tous trois sont également perdus de façon significative dans l'urine concentrée.
7. **B** Le système nerveux végétatif (SNV) est constitué de deux parties : les SNV sympathique (SNS) et parasympathique (SNPa). Tous deux envoient des fibres nerveuses vers les viscères. Par exemple, le SNPa ralentit le rythme cardiaque, alors que le SNS l'accélère. Le SNV joue aussi un rôle important dans le système digestif : le SNPa augmente l'activité digestive alors que le SNS la ralentit. Les autres propositions sont toutes correctes.
8. **C** Les potentiels d'action (PA) peuvent se propager de façon bidirectionnelle sur les fibres nerveuses. Cependant, habituellement, ils ne le font pas, parce que la région du nerf qui a donné naissance au PA est en période réfractaire. Toutes les autres propositions sont correctes.
9. **C** Comme le colon est responsable de la réabsorption de l'eau contenue dans les matières fécales, son ablation se traduit par une diarrhée chronique. Le colon est également un lieu de stockage pour les fèces.
10. **B** Les os longs s'allongent à partir des extrémités de l'os (épiphyses), là où sont localisées les plaques de croissance. Au niveau de ces plaques de croissance, ou plaques épiphysaires, le cartilage est converti en os. Le diamètre de l'os s'accroît, lorsque l'os grandit, à partir du périoste qui recouvre l'os.
11. **B** Seule la proposition **B** est correcte. Dès que la fécondation a eu lieu, l'œuf produit la gonadotrophine chorionique humaine, ce qui prolonge la production de progestérone par le corps jaune. La progestérone exerce un rétrocontrôle sur l'hypothalamus pour inhiber la libération du facteur responsable de la sécrétion de FSH par l'antéhypophyse.
12. **D** Toutes les fonctions citées sont assurées par la peau humaine. Rappelons que la peau est constituée de l'épiderme et du derme. L'épiderme est la couche externe de la peau : il contient des cellules qui se divisent rapidement et de la kératine. Le derme contient des follicules pileux, des glandes sudoripares, des glandes sébacées, des fibres nerveuses, des vaisseaux sanguins, des vaisseaux lymphatiques et d'autres structures.

13. **C** Une polyurie apparaît à la suite d'une diminution de la libération d'ADH au niveau de la posthypophyse. L'ADH (hormone antidiurétique) agit sur les tubes collecteurs du néphron pour augmenter la réabsorption de l'eau. Par conséquent, une diminution de l'ADH entraîne une moindre réabsorption de l'eau dans le rein et une plus grande production d'urine.
14. **B** La formation du caillot sanguin est initiée par l'adhésion des plaquettes à une zone de la blessure, habituellement à l'endroit où du collagène a été exposé (e.g., une coupure ou une éraflure). Les plaquettes créent un caillot mou, ou bouchon, qui arrête l'écoulement du sang. Ce caillot est très fragile. La cascade de protéines, qui est ensuite activée, conduit à la conversion de la prothrombine en thrombine. La thrombine convertit ensuite le fibrinogène en fibrine. La fibrine est une protéine fibreuse qui permet de lier et de solidifier le caillot sanguin.
15. **C** Le canal thoracique est le vaisseau lymphatique qui permet à la lymphe, venant du corps, de revenir à la circulation sanguine. La lymphe rejoint la veine sous-clavière gauche, dans le thorax.
16. **B** La digestion des protéines débute dans l'estomac, lorsque la pepsine, enzyme gastrique efficace en milieu acide, entame la dégradation protéolytique des protéines.
17. **C** L'adrénaline (et à un degré bien moindre, la noradrénaline) est libérée par la médullosurrénale lors d'un stress aigu. Elle accélère le rythme cardiaque et augmente la glycémie pour aider le corps à faire face à une agression brutale. La noradrénaline est surtout utilisée par le système nerveux comme neurotransmetteur. L'insuline diminue la glycémie alors que l'ADH n'a aucun effet sur le taux de glucose. La cortisone, produite par la corticosurrénale, est l'hormone d'un stress à long terme : son action provoque une augmentation de la glycémie mais n'a aucun effet sur le rythme cardiaque.
18. **D** La médullosurrénale est d'origine ectodermique et renferme des corps cellulaires de neurones.
19. **A** Les os de l'oreille moyenne (le marteau, l'enclume et l'étrier) sont les plus petits os du corps.
20. **B** Les fibres parasympathiques préganglionnaires sont les plus longues car elles naissent dans l'encéphale et font tout le trajet jusqu'aux ganglions dans lesquels elles font synapse. Ces ganglions sont proches des organes cibles. Quant aux fibres sympathiques préganglionnaires, elles prennent naissance dans la moelle épinière et ne vont que jusqu'à la chaîne sympathique où sont localisés leurs ganglions. Cette distance est courte. Les fibres postganglionnaires, qu'elles soient sympathiques ou parasympathiques, sont plus courtes que les fibres parasympathiques préganglionnaires.
21. **D** Les ions calcium jouent un rôle important dans toutes les fonctions des muscles et dans certaines fonctions des terminaisons nerveuses.
22. **A** Le système rénine-angiotensine contrôle la pression sanguine et reçoit des influx du système nerveux végétatif sympathique. Lorsque la pression sanguine chute, les appareils juxtaglomérulaires rénaux libèrent dans la circulation une enzyme, la rénine. Celle-ci convertit l'angiotensinogène en angiotensine I, laquelle est convertie à son tour en angiotensine II dans les poumons. L'angiotensine II est un très puissant vasoconstricteur.

23. **C** Les ostéocytes sont des ostéoblastes adultes qui se sont fait emprisonner dans l'os qu'ils ont formé. Les ostéocytes vivent dans des logettes de l'os, les lacunes, reliées les unes aux autres par des canalicules. C'est par ces canalicules que les ostéocytes communiquent avec les autres ostéocytes et qu'ils reçoivent leurs nutriments. Les ostéoclastes résorbent l'os.
24. **A** Les voies visuelles sont des voies qui initient les réflexes et permettent à un individu d'interpréter les images, fonction qui est assurée par le cortex de la région occipitale des hémisphères cérébraux. Le cervelet coordonne les mouvements.
25. **C** Les mouvements volontaires requièrent l'intégrité de l'encéphale, de la moelle épinière et des racines ventrales. Sans racines dorsales, il n'y a pas de sensation et le réflexe monosynaptique ne peut avoir lieu. Lorsque l'information sensorielle est absente, le mouvement est désordonné.

Partie 2 : Physiologie

6^e groupe de questions

1. Le type de muscle, qui borde les structures viscérales tels que l'œsophage inférieur, l'estomac, la partie inférieure du tractus gastro-intestinal et les vaisseaux sanguins est :
- A) strié et volontaire.
 - B) strié et involontaire.
 - C) lisse et volontaire.
 - D) lisse et involontaire.
2. Dans quelle région de la moelle épinière les neurones afférents (sensoriels) ont-ils leurs corps cellulaires ?
- A) La racine ventrale
 - B) La racine dorsale
 - C) La région intermédiaire
 - D) La région des interneurones
3. Quelle est la meilleure description d'un ganglion ?
- A) Une prolifération de dendrites denses
 - B) Un ensemble d'axones
 - C) Un ensemble de corps cellulaires localisé dans le système nerveux central
 - D) Un ensemble de corps cellulaires localisé dans le système nerveux périphérique
4. Quelle couche germinale donne naissance aux neurones et au tissu nerveux ?
- A) L'endoderme
 - B) L'ectoderme
 - C) Le mésoderme
 - D) Aucun de ceux-ci

Hidden page

12. Le petit vitellus trouvé lors du développement des mammifères suggère :
- A) une formation corporelle polaire.
 - B) un embryon métaboliquement actif.
 - C) un faible besoin métabolique de l'embryon.
 - D) une nutrition placentaire probable.
13. L'importante hormone pancréatique qui favorise le prélèvement du glucose par les cellules musculaires et adipeuses est :
- A) l'insuline.
 - B) le glucagon.
 - C) la sécrétine.
 - D) le cortisol.
14. Quelles cellules pancréatiques produisent le glucagon ?
- A) Les cellules α
 - B) Les cellules β
 - C) Les cellules γ
 - D) Les cellules δ
15. Un diabétique s'est donné accidentellement une dose trop forte d'insuline. Étant donné l'effet d'un excès d'insuline, quel traitement le plus logique doit-on donner à ce patient ?
- A) une injection intraveineuse d'insuline
 - B) une injection intraveineuse qui bloque les effets du glucagon
 - C) l'administration d'une drogue qui stimule les cellules β du pancréas
 - D) une injection intraveineuse de glucose
16. Quelle est la meilleure description du rôle de la parathormone ? Elle :
- A) augmente la concentration plasmatique du phosphate.
 - B) diminue la concentration plasmatique du calcium.
 - C) augmente la concentration plasmatique du calcium.
 - D) diminue la concentration plasmatique du sodium.
17. La calcitonine est une hormone qui diminue la concentration plasmatique du calcium. Sur quelle(s) glande(s) doit-on agir pour perturber la sécrétion de calcitonine ?
- A) Les parathyroïdes
 - B) L'hypophyse
 - C) Le thymus
 - D) La thyroïde
18. Quelle paire d'hormones est sécrétée par les médullosurrénales ?
- A) La cortisone et l'hydrocortisone
 - B) L'aldostérone et des androgènes
 - C) La FSH et la LH
 - D) L'adrénaline et la noradrénaline
19. Les hormones des corticosurrénales sont toutes des :
- A) glycolipides.
 - B) protéines.
 - C) peptides.
 - D) stéroïdes.

20. Quelle hormone est transportée de l'hypothalamus à la posthypophyse par transport axonal ?
- A) La FSH
 - B) La prolactine
 - C) L'ADH
 - D) La MSH
21. Toutes les caractéristiques suivantes appartiennent aux chordés, sauf :
- A) une corde nerveuse ventrale.
 - B) une musculature corporelle segmentée.
 - C) un cœur ventral.
 - D) une notochorde.
22. L'unité de contraction du muscle strié a été abondamment étudiée. Cette structure, qui est limitée par deux lignes Z et qui contient de l'actine, de la myosine, de la troponine et de la tropomyosine est appelée :
- A) sarcolemme.
 - B) sarcoplasme.
 - C) sarcosome.
 - D) sarcomère.
23. Quel est le type de cellule le plus hautement différencié ?
- A) Une cellule de la blastula
 - B) Une cellule de l'épithélium intestinal
 - C) Une cellule souche de la moelle rouge des os
 - D) Une cellule ectodermique de la rétine d'un œil d'embryon en développement
24. Une personne a un métabolisme très élevé, transpire abondamment, perd du poids et a les yeux protubérants. Quelle(s) glande(s) endocrine(s) fonctionne(nt) mal et provoque(nt) ces effets ?
- A) Les corticosurrénales
 - B) La posthypophyse
 - C) Les parathyroïdes
 - D) La thyroïde
25. Les influx qui voyagent dans le système nerveux se propagent de façon électrique sur les neurones et se transmettent de façon chimique au niveau des synapses. Quelle substance ne fait pas partie des neurotransmetteurs avérés ?
- A) L'acétylcholine
 - B) La dopamine
 - C) La sérotonine
 - D) Aucune des substances ci-dessus, car toutes sont des neurotransmetteurs avérés

6^e groupe de solutions

1. **D** Le muscle de la paroi des organes creux du corps est un muscle lisse. Ce type de muscle est caractérisé par des contractions lentes, des cellules fusiformes, un contrôle involontaire et une innervation assurée par le système nerveux végétatif.

2. **B** Les corps cellulaires des fibres nerveuses afférentes sont localisés dans le ganglion de la racine dorsale. La racine ventrale correspond à la sortie des fibres motrices. Les interneurons font synapse dans la moelle épinière proprement dite.
3. **D** Plusieurs termes sont utilisés en neurobiologie pour décrire des nerfs et des ensembles de corps cellulaires nerveux. Un ganglion est un ensemble de corps cellulaires nerveux trouvé dans le système nerveux périphérique. Un ensemble de corps cellulaires nerveux situé dans le système nerveux central est un noyau. Un ensemble d'axones fait partie d'un nerf.
4. **B** L'ectoderme donne naissance au système nerveux, à la peau, aux annexes cutanées tels que les poils et les ongles, à la cornée de l'œil, à l'émail des dents etc...
5. **C** L'hypothalamus produit l'ocytocine et l'ADH et les fait parvenir, par transport axonal, à l'hypophyse postérieure où elles sont libérées. Les autres hormones citées sont produites par l'hypophyse antérieure qui les libère dans le sang.
6. **C** Le système nerveux est le premier système d'organes qui se forme et fonctionne chez l'embryon humain.
7. **B** La drogue B bloque la formation et la différenciation du mésoderme. Étant donné que le cœur et le système cardio-vasculaire dérive du mésoderme, la drogue B est la plus efficace. Il est impossible de savoir si les autres drogues pourrait avoir un effet sur le cœur, B est donc le meilleur choix.
8. **A** Le revêtement interne des organes creux, tels que les poumons ou les organes digestifs, est d'origine endodermique.
9. **C** Le tissu osseux dérive du mésoderme.
10. **B** Une morula est une boule pleine de cellules qui résulte des premiers clivages de l'œuf. Dès que la morula atteint le stade de 16 cellules, du liquide est sécrété dans la région centrale et il se forme une boule creuse de cellules appelée blastula.
11. **D** L'ordre de développement correct est : morula, blastula, gastrula.
12. **D** Le placenta, organe mammalien constitué de composants fœtaux et maternels, facilite les échanges des matériels entre le fœtus et la mère. La présence d'un placenta signifie que les apports nutritionnels externes venant du vitellus sont minimes. Par conséquent, les mammifères ont un petit vitellus.
13. **A** Le glucagon stimule la production de glucose à partir des réserves de glycogène hépatique et musculaire. Par ailleurs, l'insuline diminue la glycémie en favorisant le prélèvement du glucose par les muscles et les adipocytes.
14. **A** Le glucagon pancréatique est sécrété par les cellules α . Les cellules β produisent l'insuline, alors que les cellules δ produisent la somatostatine.
15. **D** L'injection d'une forte dose d'insuline abaisse fortement la glycémie parce que l'insuline stimule le prélèvement du glucose sanguin par de nombreuses cellules. Une injection intraveineuse de glucose est donc la solution la plus rationnelle. Le glucagon ne sera pas bloqué puisqu'il augmente la glycémie. De plus, le choix **A** serait désastreux car il diminuerait encore plus la glycémie et conduirait à la mort. Le choix **C** est incorrect car les cellules β produisent l'insuline qui diminue la glycémie.

16. **C** La parathormone augmente le calcium plasmatique en augmentant la résorption osseuse et en diminuant les pertes de calcium dans l'urine. Le phosphate plasmatique diminue en présence de parathormone.
17. **D** La calcitonine est produite par la thyroïde et la parathormone l'est par les parathyroïdes. La thyroïde produit aussi la thyroxine.
18. **D** La cortisone, l'aldostérone et des androgènes sont produits par les corticosurrénales. L'adrénaline, et à un degré bien moindre la noradrénaline, sont produites par les médullosurrénales.
19. **D** Les hormones des corticosurrénales sont des stéroïdes, alors que les hormones des médullosurrénales sont des amines contenant un noyau aromatique. Les hormones antéhypophysaires sont de petits glycopeptides.
20. **C** L'ADH et l'ocytocine sont des hormones véhiculées de l'hypothalamus à la posthypophyse par un transport axonal.
21. **A** Les chordés sont caractérisés par une *corde nerveuse dorsale*, une musculature corporelle segmentée, un cœur ventral, une notochorde et des fentes branchiales pharyngiennes à un moment du développement.
22. **D** Le sarcomère est l'unité fonctionnelle du tissu musculaire strié. C'est une unité qui se répète tout au long des myofibrilles des muscles striés. Les extrémités d'un sarcomère sont délimitées par des lignes Z. Les filaments fins, contenant de l'actine, de la troponine et de la tropomyosine, sont fixés aux lignes Z. Les filaments épais, faits de myosine, sont situés au centre du sarcomère. Le réticulum sarcoplasmique est une forme musculaire modifiée de réticulum endoplasmique et stocke les ions calcium. La libération de ce calcium provoque la contraction musculaire.
23. **B** Une cellule hautement différenciée est une cellule qui a subi des modifications la faisant passer d'une forme immature à une forme adulte bien marquée. Une cellule de l'épithélium intestinal ne peut pas donner autre chose : elle est engagée dans une fonction spécifique. Les autres choix concernent des cellules qui ont encore la possibilité de parfaire leur différenciation.
24. **D** Des taux excessifs de thyroxine augmentent de façon pathologique le métabolisme et peuvent provoquer les autres symptômes décrits.
25. **D** Les neurotransmetteurs classiques, qui opèrent aux synapses, comprennent l'acétylcholine, la noradrénaline, la dopamine et la sérotonine.

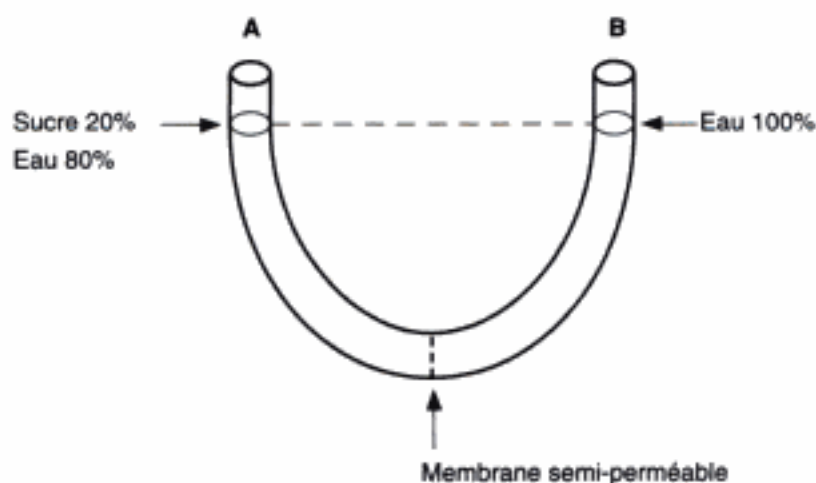
Partie 2 : Physiologie

7^e groupe de questions

1. Quelle hormone n'est pas sécrétée par l'hypophyse antérieure ?
 - A) FSH
 - B) GH
 - C) ADH
 - D) ACTH
2. L'effet habituel d'une stimulation modérée du nerf vague est :
 - A) une augmentation du rythme respiratoire.
 - B) une augmentation de l'activité péristaltique.

- C) une augmentation du rythme cardiaque.
 - D) un rythme cardiaque irrégulier.
3. Chez l'homme, le canal extrêmement enroulé, dans lequel la majeure partie des spermatozoïdes est stockée avant l'éjaculation, est appelé :
- A) épидидyme.
 - B) vésicule séminale.
 - C) canal déférent.
 - D) urètre.
4. Le sang oxygéné est transporté des poumons vers le cœur par :
- A) les veines coronaires.
 - B) les artères coronaires.
 - C) les veines pulmonaires.
 - D) les artères pulmonaires.
5. La région de l'encéphale qui coordonne l'activité musculaire est :
- A) le corps calleux.
 - B) le cervelet.
 - C) le cortex cérébral.
 - D) la moelle allongée.
6. Durant la méiose, chaque spermatocyte primaire donne naissance à :
- A) deux spermatozoïdes.
 - B) deux spermatozoïdes et deux globules polaires.
 - C) deux globules polaires.
 - D) quatre spermatozoïdes.
7. Une personne du groupe sanguin A peut :
- A) être le parent d'un enfant appartenant au groupe B.
 - B) ne posséder que l'antigène cellulaire B.
 - C) posséder les deux antigènes cellulaires A et B.
 - D) recevoir sans problème du sang d'un donneur du groupe B.
8. La structure postovulatoire qui produit activement de la progestérone est appelé le :
- A) corps jaune.
 - B) corps blanc.
 - C) corps strié.
 - D) corps folliculaire.
9. Quel organe, ou région spécifique d'un organe, assure l'essentiel du contrôle de l'homéostasie du pH chez les humains ?
- A) Le foie
 - B) Le rein
 - C) L'intestin
 - D) La moelle allongée
10. Toutes les glandes, citées ci-dessous, sécrètent des enzymes digestives sauf :
- A) le pancréas.
 - B) les glandes salivaires.
 - C) l'estomac.
 - D) le foie.

11. Après l'absorption des nutriments au niveau de l'intestin grêle, le sang passe successivement par :
- A) le foie, la veine hépatique (sus-hépatique), la veine porte hépatique, la veine cave inférieure, l'oreillette droite.
 - B) la veine hépatique, le foie, la veine porte hépatique, la veine cave inférieure, l'oreillette droite.
 - C) la veine porte hépatique, le foie, la veine hépatique, la veine cave inférieure, l'oreillette droite.
 - D) aucune des propositions ci-dessus.
12. Dans un muscle donné, on observe que la force de la contraction musculaire est en augmentation. La meilleure explication en est :
- A) la force accrue des potentiels d'action.
 - B) il y a plus de potentiels d'action qui exercent leur influence au niveau du ganglion de la racine dorsale.
 - C) une activité alternée des muscles fléchisseurs et extenseurs.
 - D) une activation accrue des motoneurones des unités motrices.
13. Parmi ces substances, laquelle n'est pas produite par le foie des mammifères ?
- A) l'urée
 - B) la bile
 - C) la cholécystokinine
 - D) le cholestérol
14. Chez les mammifères, l'axone des motoneurones :
- A) quitte la moelle épinière par la racine ventrale.
 - B) entre dans la moelle épinière par la racine dorsale.
 - C) innerve des barorécepteurs musculaires.
 - D) innerve des organes viscéraux.
15. Dans un tube en U, muni d'une membrane semi-perméable séparant une solution A d'une solution B, que se passe-t-il en ce qui concerne le niveau d'eau ?



- A) Il s'élève du côté A, car l'eau passe de la région la plus concentrée en eau à la région la moins concentrée.
- B) Il s'élève du côté B, car l'eau passe de la région la moins concentrée en eau à la région la plus concentrée.

- C) Il reste le même car la pression atmosphérique est la même des deux côtés du système.
- D) Il n'y a pas assez d'informations pour pouvoir répondre.
16. Dans le système circulatoire fœtal humain, quel est le vaisseau qui transporte le sang le plus oxygéné ?
- A) Le canal artériel de Botal
- B) La veine pulmonaire
- C) L'artère ombilicale
- D) La veine ombilicale
17. L'ocytocine est une hormone sécrétée à partir de :
- A) la moelle.
- B) l'hypophyse antérieure.
- C) l'hypophyse postérieure.
- D) la surrénale.
18. Quelle est l'hormone qui provoque une diminution de la glycémie ?
- A) Le cortisol
- B) Le glucagon
- C) La thyroxine
- D) L'ocytocine
19. Une drogue stimulant le système nerveux sympathique est administrée à un patient. On peut s'attendre à ce qu'elle :
- A) ralentisse le rythme cardiaque.
- B) augmente le péristaltisme intestinal.
- C) provoque une constriction des bronches.
- D) dilate les pupilles.
20. L'absence de dissociation des ponts d'union (transversaux) entre les filaments d'actine et de myosine dans du tissu musculaire est connue sous le terme de :
- A) téтанos.
- B) fasciculation.
- C) contraction isotonique.
- D) rigidité cadavérique.
21. Immédiatement après la fécondation, l'œuf en division forme une boule de cellules entourant une cavité centrale. Quel est ce stade ?
- A) Morula
- B) Blastula
- C) Gastrula
- D) Neurula
22. Chez les mammifères, lors du développement embryonnaire, l'embryon proprement dit se développe à partir :
- A) du trophoblaste.
- B) de l'amnios.
- C) de la masse cellulaire interne.
- D) du sac vitellin primaire.

- 23.** Quelle activité morphogénétique forme la gastrula de l'embryon des vertébrés ?
- A) Différenciation
 - B) Clivage
 - C) Détermination
 - D) Invagination
- 24.** Quel tissu n'appartient pas aux membranes extraembryonnaires de l'embryon humain ?
- A) L'amnios
 - B) L'allantoïde
 - C) Le sac vitellin
 - D) Aucun d'eux
- 25.** Un biologiste insère laèvre dorsale du blastopore provenant d'un embryon précoce de grenouille sous l'ectoderme de la face ventrale d'un second embryon précoce. Que peut-il se produire chez l'embryon hôte ?
- A) Il meurt par réaction au tissu étranger.
 - B) Il développe une seconde ligne primitive.
 - C) Il développe une seconde gouttière neurale.
 - D) Il développe une paire de membres supplémentaire.

7^e groupe de solutions

- 1. C** L'ADH est produite dans l'hypothalamus et acheminée, par transport axonal, jusqu'à l'hypophyse postérieure pour y être libérée. Les autres hormones énumérées sont produites et libérées dans l'hypophyse antérieure. L'hypophyse antérieure produit des hormones sous le contrôle de l'hypothalamus. Celui-ci produit des libérines (ou des statines), qui atteignent l'hypophyse antérieure au moyen du système porte hypothalamo-hypophysaire, et lui signalent qu'elle a à produire (ou non) des hormones. Il est important de rappeler que, contrairement à l'antéhypophyse, la posthypophyse ne produit pas d'hormones.
- 2. B** Le système nerveux végétatif parasympathique (SNPa) joue un rôle essentiel dans l'augmentation de l'activité digestive, alors que le SNV sympathique (SNS) la ralentit. Les moyens mnémotechniques constituent une excellente façon de se souvenir des nombreuses fonctions du SNV. Le SNS est associé à la réaction « combattre ou fuir », alors que le SNPa est associé à la réaction « se reposer et digérer ». Dans des situations stressantes, tels qu'un combat ou une fuite, le SNS agit en augmentant l'apport de sang et d'oxygène au noyau central du corps et aux muscles. Ceci se traduit par une augmentation des rythmes cardiaque et respiratoire, une dilatation des bronches, un ralentissement de l'activité digestive, une vasoconstriction des vaisseaux cutanés, etc. Dans les périodes paisibles, le SNPa est actif et cette situation provoque une augmentation de l'activité digestive, un ralentissement des rythmes cardiaque et respiratoire, un rétrécissement des bronches, etc.
- 3. A** Les vésicules séminales, la prostate et les glandes de Cowper produisent des sécrétions qui s'ajoutent au sperme. Les spermatozoïdes sont stockés dans l'épididyme et y subissent leur maturation.

Hidden page

centration des ions sodium et potassium dans le milieu), cette modification ne provoque pas une plus forte contraction musculaire. Le choix **B** est incorrect, car le ganglion de la racine dorsale est un ganglion sensoriel. C'est à cet endroit que sont localisés les corps cellulaires des neurones sensoriels dont les axones entrent dans la moelle épinière. Le choix **C** est incorrect, car une activité alternée des muscles fléchisseurs et des muscles extenseurs provoque des mouvements de flexion et d'extension qui s'annulent entre eux. L'activité alternée des fléchisseurs et des extenseurs n'entraîne pas de contractions musculaires plus fortes.

13. **C** La CCK, ou cholécystokinine, est une hormone, produite dans la muqueuse duodénale, qui agit sur la vésicule biliaire pour provoquer la libération de la bile qui y est stockée. Toutes les autres substances sont produites par le foie.
14. **A** Les axones des motoneurones quittent la moelle épinière par les racines ventrales alors que les informations sensorielles y arrivent par les racines dorsales.
15. **A** Bien que la concentration de l'eau ne soit généralement pas prise en considération, c'est la proposition **A** qui est correcte. L'eau se déplace de telle sorte qu'elle dilue les solutés concentrés et, de cette façon, le niveau s'élève du côté A.
16. **D** La veine ombilicale apporte le sang correctement oxygéné, du placenta jusqu'au fœtus. Les autres vaisseaux transportent du sang moins oxygéné. Le sang le moins oxygéné est transporté par l'artère ombilicale car ce vaisseau véhicule le sang désoxygéné du fœtus vers le placenta.
17. **C** L'ocytocine est sécrétée au niveau de l'hypophyse postérieure. Rappelons que cette hormone, tout comme l'ADH, est synthétisée dans l'hypothalamus et transportée jusqu'à la posthypophyse. Elle est libérée dans le sang des capillaires de la posthypophyse et provoque la contraction des cellules myoépithéliales des glandes mammaires (lors de l'allaitement) et celle des muscles lisses de l'utérus (lors de l'accouchement).
18. **C** La thyroxine augmente le métabolisme et, par conséquent, provoque l'utilisation du glucose sanguin. Le cortisol et le glucagon augmentent la glycémie.
19. **D** La stimulation du sympathique dilate les pupilles (voir aussi dans la toxicité de la cocaïne), accélère le cœur, augmente le rythme ventilatoire, ralentit la digestion, etc.
20. **D** La rigidité cadavérique se produit lorsque les ponts d'union (transversaux) qui se sont formés entre les têtes de myosine et les actines-G ne se dissocient pas. Rappelons que la séparation des têtes de myosine et des actines-G requiert de l'ATP. Après la mort, l'ATP n'est plus disponible et la rigidité cadavérique s'installe.
21. **B** Lors du développement, le stade blastula suit le stade morula. Une blastula est une boule creuse de cellules habituellement indifférenciées.
22. **C** Dès qu'il atteint le stade de 16 cellules, le zygote forme une morula. La morula comporte un groupe central de cellules, la masse cellulaire interne. Cette masse donne naissance à l'embryon proprement dit. La couche cellulaire externe environnante, ou masse cellulaire externe, forme plus tard le trophoblaste, qui constitue la contribution de l'embryon au placenta.
23. **D** Une invagination transforme la blastula en gastrula et permet la différenciation des trois couches germinales.

24. **D** L'amnios, l'allantoïde et le sac vitellin sont des tissus annexes de l'embryon.
25. **C** La lèvre dorsale du blastopore entraîne la différenciation d'une gouttière neurale. La transplantation de la lèvre dorsale tout au début du développement donne naissance à une gouttière neurale supplémentaire si elle est insérée sous l'ectoderme indifférencié. Cette opération est un exemple classique d'induction tissulaire.

Partie 3 : Génétique, évolution et botanique

8^e groupe de questions

1. Un chercheur croise des plantes de grande taille de race pure avec des plantes naines de race pure. Tous les descendants de ce croisement sont grands. Ces descendants sont alors croisés. On peut pronostiquer que dans la génération F₂ :
- A) 1/4 des descendants seront grands.
 - B) 1/2 des descendants seront grands.
 - C) 3/4 des descendants seront grands.
 - D) tous les descendants seront grands.
2. Dans la question 1, l'allèle des plantes naines est :
- A) récessif dans les générations F₁ et F₂.
 - B) récessif dans la génération F₁.
 - C) absent dans la génération F₁.
 - D) absent dans les générations F₁ et F₂.

Les questions de 3 à 5 se réfèrent aux données suivantes :

Des gènes pour les yeux noirs (N) sont habituellement dominants sur les gènes pour les yeux bleus ou gris clair (n). Un homme aux yeux brun foncé se marie avec une femme aux yeux gris clair. Ils ont deux enfants : un garçon aux yeux brun foncé et une fille aux yeux bleus

3. Le génotype de l'homme est :
- A) NN.
 - B) Nn.
 - C) nn.
 - D) impossible à déterminer à partir de l'information fournie.
4. Le génotype de la femme est :
- A) NN.
 - B) Nn.
 - C) nn.
 - D) impossible à déterminer à partir de l'information fournie.
5. Le génotype du fils est :
- A) NN.
 - B) Nn.
 - C) nn.
 - D) impossible à déterminer à partir de l'information fournie.

6. Un homme aux yeux bruns (B) se marie avec une femme aux yeux bleus (b). Ils ont douze enfants aux yeux bruns. Quels sont, respectivement, les génotypes probables de l'homme, de la femme et de tous les enfants ?
- A) BB, Bb, bb
 - B) Bb, bb, Bb
 - C) BB, Bb, Bb
 - D) Aucun de ceux-ci
7. Les gènes occupant des loci homologues de chromosomes homologues sont dits :
- A) liés.
 - B) séparés.
 - C) recombines.
 - D) allèles.
8. Chez les humains, l'albinisme est déterminé par un gène récessif (a). La syndactylie, situation dans laquelle deux ou plusieurs doigts, ou orteils, sont réunis par une membrane de muscle ou de peau, est déterminée par un gène dominant (S). Si les génotypes d'un couple sont SsAa et ssaa, quels sont les probabilités pour que leurs descendants soient albinos et aient les doigts, ou les orteils, joints ?
- A) 1/8
 - B) 1/4
 - C) 1/2
 - D) 1/6
9. Après l'analyse d'un caryotype, on constate qu'un malade a 22 paires d'autosomes et deux paires de chromosomes X. Ce malade est de :
- I) phénotype féminin.
 - II) génotype normal.
 - III) phénotype masculin.
 - IV) génotype anormal.
- Les propositions sont les suivantes :
- A) I et II
 - B) II et III
 - C) I et IV
 - D) III et IV
10. Parfois, à la méiose, une des paires homologues de chromosomes ne se sépare pas convenablement et les deux chromosomes se déplacent vers le même pôle. Cet incident est connu sous le nom de
- A) Liaison.
 - B) Crossing-over.
 - C) Chiasma (enjambement).
 - D) Absence de disjonction.
11. Chez les humains, un nombre impair de chromosomes dans une cellule peut indiquer :
- A) une cellule anormale.
 - B) un gamète.
 - C) une cellule haploïde.
 - D) les trois propositions sont possibles.

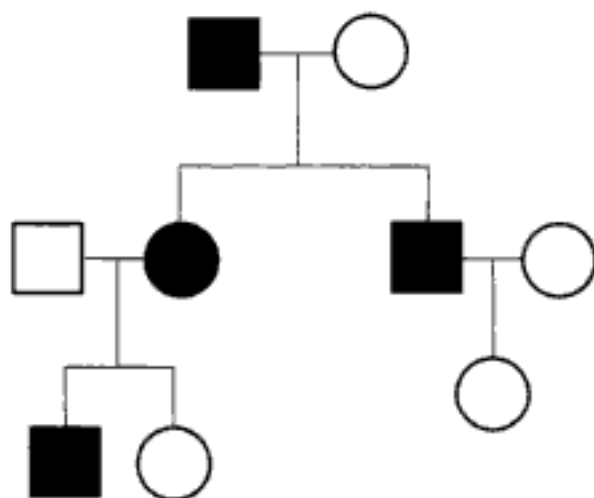
12. En cas de croisement dihybride, les deux paires de facteurs sont indépendantes ; nous avons affaire à :
- A) une ségrégation.
 - B) un assortiment indépendant.
 - C) une absence de disjonction.
 - D) une liaison (linkage).
13. Un caractère récessif lié au sexe, porté par les chromosomes X, s'exprime rarement dans le phénotype féminin car :
- A) un seul chromosome X est fonctionnel dans la plupart des cellules féminines.
 - B) la femme doit hériter de deux allèles récessifs, venant de chacun des gamètes.
 - C) l'allèle récessif est normalement lié à l'allèle dominant chez les femmes.
 - D) les phénotypes récessifs se rencontrent rarement chez les femmes.
14. Si une lignée de fleurs rouges de race pure est croisée avec une lignée de fleurs blanches de race pure, toutes les descendantes en F₁ sont roses. Une explication possible est d'en attribuer la responsabilité à un mécanisme :
- A) de codominance.
 - B) de dominance incomplète.
 - C) de liaison.
 - D) d'indépendance des caractères.
15. En supposant que le daltonisme est un caractère récessif lié au sexe, les descendants d'un homme normal et d'une femme qui ne distingue pas les couleurs sont :
- A) tous les fils sont daltoniens et la moitié des filles sont porteuses.
 - B) la moitié des fils sont daltoniens et la moitié des filles sont porteuses.
 - C) la moitié des fils sont daltoniens et toutes les filles sont porteuses.
 - D) tous les fils sont daltoniens et toutes les filles sont porteuses.
16. Un chromosome d'une cellule germinale contient les allèles A et B, et son chromosome homologue contient les allèles A' et B'. Deux gamètes issus de cette lignée de cellules germinales contiennent des chromosomes ayant les génotypes AB' et A'B. Le processus qui peut rendre compte de cette configuration est :
- A) une mutation.
 - B) un enjambement.
 - C) une recombinaison.
 - D) une indépendance des caractères.
17. Au cours d'une division cellulaire, la réplication de l'ADN se produit lors de :
- A) l'interphase.
 - B) la prophase.
 - C) la métaphase.
 - D) l'anaphase.
18. Au cours de quelle phase de la mitose les chromosomes s'alignent-ils à l'équateur de la cellule ?
- A) L'interphase
 - B) La prophase
 - C) La métaphase
 - D) L'anaphase

19. Au cours de la division cellulaire, le constituant de la cellule qui se déplace vers le pôle opposé de la cellule en précédant le mouvement du chromosome est :
- A) le centromère.
 - B) le centriole.
 - C) la chromatide sœur.
 - D) le centrosome.
20. La méiose d'un ovocyte implique habituellement :
- A) des divisions égales avec au moins deux cellules fonctionnelles.
 - B) des divisions égales avec une seule cellule fonctionnelle.
 - C) des divisions inégales avec au moins deux cellules fonctionnelles.
 - D) des divisions inégales avec une seule cellule fonctionnelle.
21. La phase de la mitose au cours de laquelle la membrane nucléaire et le nucléole disparaissent est :
- A) l'interphase.
 - B) la prophase.
 - C) la métaphase.
 - D) l'anaphase.
22. Le noyau d'une cellule somatique de *Drosophila* contient huit chromosomes. Au cours de quelle phase de la division cellulaire une cellule de *Drosophila* aura-t-elle 16 chromosomes ?
- A) La métaphase de la 2^e division de la méiose
 - B) La télophase de la mitose
 - C) La prophase de la 2^e division de la méiose
 - D) L'anaphase de la mitose
23. Le génotype d'un individu présentant un caractère dominant particulier peut être déterminé par :
- A) hybridation.
 - B) rétrocroisement.
 - C) rétrocroisements répétés.
 - D) analyse du caryotype.
24. Chez les humains, les principales différences concernant les groupes sanguins sont déterminées par des allèles multiples désignés par I^A , I^B et i . I^A et I^B sont codominants et i est récessif. Les combinaisons de gènes $I^A I^A$ et $I^A i$ produisent le groupe sanguin A. $I^A I^B$ produit le groupe sanguin AB ; $I^B I^B$ et $I^B i$ produisent le groupe sanguin B ; et ii produit le groupe sanguin O. Si un parent a le groupe sanguin A, l'autre parent le groupe sanguin B et s'ils ont un enfant du groupe sanguin O, quelle est la probabilité pour que leur prochain enfant ait le groupe sanguin AB ?
- A) 0%
 - B) 25%
 - C) 50%
 - D) 100%
25. Le diagramme suivant présente une carte chromosomique avec plusieurs loci alléliques. Quels sont les deux loci susceptibles de donner la fréquence d'enjambements ou de recombinaisons la plus élevée ?

A B C D E

A' B' C' D' E'

- A) A et C'
 B) B' et E
 C) E' et D
 D) A' et E
26. Combien un organisme, dont le génotype est $CCDdEEFfgg$, peut-il produire de gamètes différents ?
 A) 16
 B) 8
 C) 6
 D) 4
27. À quel jour après le début de la menstruation, l'ovulation se produit-elle approximativement chez la femme ?
 A) 1 jour
 B) 5 jours
 C) 8 jours
 D) 14 jours
28. Le diagramme suivant présente un arbre généalogique humain. Les carrés représentent les hommes, les cercles les femmes. Les symboles ombrés indiquent les personnes ayant un certain caractère, les symboles vides celles qui n'ont pas ce caractère. En se basant sur les modèles d'hérédité habituels et l'arbre généalogique suivant, l'hérédité la plus vraisemblable est :



- A) dominante liée au sexe.
 B) récessive liée au sexe.
 C) autosomique dominante.
 D) autosomique récessive.
29. La fréquence des yeux bleus dans une population est de 0,2. Supposons que tous les autres membres de cette population aient les yeux bruns. Si les yeux bruns

sont dominants par rapport aux yeux bleus, quelle est la fréquence des hétérozygotes aux yeux bruns dans cette population ? Supposons que nous soyons dans les conditions de l'équilibre de Hardy-Weinberg.

- A) 0,16
- B) 0,64
- C) 0,08
- D) 0,32

30. Le daltonisme est un caractère lié au sexe. Quel est le génotype le plus vraisemblable pour un père dont la fille ne distingue pas les couleurs ?

- A) X^cY^c
- B) X^cY
- C) XY^c
- D) XY

8^e groupe de solutions

1. **C** Cette question évoque un monohybridisme. Pour le premier croisement décrit, utilisons le croisement suivant : $GG \times gg$ = tous les descendants sont Gg (génération F_1). Pour le second croisement, $Gg \times Gg = 1GG + 2Gg + 1gg$ (génération F_2). Par conséquent, $3/4$ des descendants de F_2 ont un phénotype grand.
2. **A** L'allèle des plantes naines doit être récessif pour donner des plantes phénotypiquement grandes dans les rapports observés tant en génération F_1 qu'en génération F_2 .
3. **B** Dans ces problèmes, il faut déjà penser aux génotypes parentaux susceptibles de donner les génotypes provenant des croisements. Si nous supposons que le père est Nn et la mère est nn , les enfants sont Nn ou nn : le père est donc Nn .¹
4. **C** D'après la supposition de la question 3, la mère est nn .
5. **B** La solution est donnée dans la question 3. Il faut noter que le sexe des enfants n'intervient pas dans ce problème. Seul le génotype des chromosomes autosomiques est important ici.
6. **D** Les yeux bruns ayant un caractère dominant sur les yeux bleus, le père est très probablement homozygote (BB), la mère est certainement homozygote (bb) et tous les enfants sont hétérozygotes (Bb).
7. **D** Les allèles sont des formes alternatives d'un gène. Ils occupent les mêmes loci sur des paires de chromosomes homologues.
8. **A** Le risque pour qu'un enfant soit albinos est égal au risque qu'il a d'hériter du génotype (aa). Il risque une fois sur deux de recevoir un allèle albinos de chacun de ses parents. Par conséquent, le risque d'hériter du génotype (aa) = $1/2 \times 1/2 = 1/4$. Le risque d'hériter de la syndactylie est égale au risque d'hériter d'un seul allèle B (l'allèle est dominant ; seul un allèle est nécessaire). Seul un parent a un allèle B et le risque d'en hériter est de $1/2$. Pour hériter à la fois de l'albinisme et de la syndactylie la probabilité est de $1/4 \times 1/2 = 1/8$.

1. **Note du traducteur** : La formulation des solutions 3, 4, 5 et 6 a été proposée par le réviseur.

9. **C** L'absence de chromosome **Y** détermine le phénotype féminin. Les femmes normales ont 22 paires de chromosomes autosomiques (non sexuels) et une paire de chromosomes **X** (sexuels).
10. **D** La proposition décrit une absence de disjonction. Dans ce processus, les chromosomes homologues ne se séparent pas convenablement lors de la méiose. Ce processus peut donner naissance à des gamètes possédant un nombre anormal de chromosomes. Les propositions **A**, **B** et **C** décrivent des termes génétiques différents. Un chiasma est une région visible en microscopie (il apparaît sous la forme d'un X sous le microscope) et représente l'enjambement de deux chromatides appartenant à des chromosomes séparés mais homologues. Le crossing-over est le processus dans lequel du matériel génétique est échangé entre des chromosomes homologues lors de la prophase de la 1^{re} division de la méiose. La liaison implique des gènes qui sont hérités en tant qu'unités. Par exemple, nous disons que des gènes localisés sur le même chromosome sont liés parce qu'ils sont hérités ensemble lors des croisements génétiques. La liaison au sexe a une signification différente ; elle implique qu'un gène ou des gènes soient liés à un chromosome sexuel (soit **X**, soit **Y**). Ces gènes liés au sexe sont transmis aux descendants soit avec le chromosome **X**, soit avec le chromosome **Y**.
11. **D** Une absence de disjonction durant la méiose peut entraîner l'apparition d'un nombre impair de chromosomes dans des gamètes et, par conséquent, de 45 ou 47 chromosomes dans des cellules diploïdes (au lieu des 46 normaux). Les gamètes ont normalement 23 chromosomes chacun. Lorsque deux gamètes fusionnent, le nombre diploïde normal de 46 chromosomes est atteint.
12. **B** La loi de l'assortiment indépendant des caractères stipule que, pendant la formation des gamètes, les allèles représentant des gènes différents se séparent indépendamment. Par conséquent, en cas de dihybridisme, les gènes se répartissent indépendamment selon les probabilités classiques 9 : 3 : 3 : 1. La proposition **A** est incorrecte parce que la loi de la ségrégation s'applique à la répartition des allèles d'une paire dans des gamètes distincts, mais pas à celle d'une seconde paire d'allèles indépendante. Les choix **C** et **D** sont incorrects et décrits dans la solution à la question 10.
13. **B** Dans les maladies liées au sexe, les femmes sont rarement atteintes parce qu'elles devraient recevoir deux chromosomes **X** portant le gène défectueux. Si la femme possède un chromosome **X** porteur du gène défectueux et un chromosome **X** normal, elle est porteuse de la maladie. Pour que l'homme soit atteint de la maladie, il suffit que le chromosome **X** possède le gène défectueux. Les hommes ne peuvent pas être porteurs de caractères cachés liés au sexe.
14. **B** Une dominance incomplète permet un « mélange » des gènes. Par conséquent, la progéniture d'un croisement montrant une dominance incomplète peut avoir un phénotype combinant les phénotypes parentaux. La proposition **A** est incorrecte car la codominance produit un phénotype dans lequel les deux allèles sont exprimés chez des hétérozygotes. Les choix **C** et **D** sont incorrects car la liaison et l'assortiment indépendant ne peuvent pas expliquer la production de fleurs roses à partir de phénotypes parentaux rouges et blancs (« mélange » des phénotypes).
15. **D** Pour résoudre cette question, établir le croisement décrit et évaluer la descendance produite par le croisement.

$XY \times X^cX^c = X^cY$ (fils daltoniens) + XX^c (filles porteuses).

16. **B** Le crossing-over se produit pendant la 1^{re} prophase de la méiose ; il est à l'origine de la diversification du pool de gènes. La proposition **A** est incorrecte parce que les mutations sont rares et aléatoires. Il est très peu probable que les nouveaux génotypes des gamètes proviennent des mutations. Les propositions **C** et **D** sont incorrectes parce que ces termes ne concernent pas des mécanismes susceptibles d'aboutir aux modifications alléliques présentées dans cette question. La solution à la question 12 décrit le processus d'indépendance des caractères. Il y a recombinaison lorsque les descendants des croisements possèdent de nouvelles combinaisons des phénotypes parentaux, du simple fait de l'assortiment indépendant des allèles à la méiose.
17. **A** L'ADN se réplique au cours de l'interphase.
18. **C** Durant la métaphase de la mitose, les chromosomes s'alignent à l'équateur de la cellule (plaque équatoriale) en vue de la séparation.
19. **B** Les centrioles interviennent dans l'organisation des microtubules pendant la mitose en se plaçant aux deux pôles du noyau avant le déplacement des chromosomes. Le centromère est une région plus ou moins centrale réunissant les deux chromatides sœurs. Les chromatides sœurs sont des copies identiques d'un chromosome répliqué. En interphase, la réplication de l'ADN, produit deux copies identiques de l'information contenue dans le chromosome. Ces copies identiques sont les chromatides sœurs. Le centrosome n'a pas sa place ici.
20. **D** Une répartition inégale du cytoplasme permet de donner un seul ovocyte ayant une grande quantité de réserves. De ce processus, il résulte trois globules polaires.
21. **B** Au cours de la prophase de la mitose, la membrane nucléaire et le nucléole disparaissent en microscopie photonique.
22. **D** L'ADN se réplique en interphase. Les chromosomes se condensent pendant la prophase et les deux chromatides sœurs se séparent en anaphase. Nous passons par conséquent de 8 à 16 chromosomes avant la fin de la cytokinèse.
23. **B** Les rétrocroisements (back-cross) sont utilisés pour déterminer le génotype d'un individu. L'hybridation implique des souches ou des variants différents d'une même espèce : ce serait le cas lors d'un croisement entre un caniche et un danois (dogue allemand). Les rétrocroisements répétés (outbreeding) sont destinés à éliminer sélectivement un ou plusieurs caractères particuliers d'une espèce ou d'une race en croisant sélectivement les individus qui ne possèdent pas ces caractères ou les expriment peu.
24. **B** Le fait qu'un enfant soit du groupe sanguin O (génotype ii) signifie que les parents doivent être I^Ai et I^Bi. Si l'on considère les génotypes des parents, la probabilité pour qu'un enfant soit I^AI^B est de 1/4 ou de 25%.
25. **D** La fréquence de recombinaison la plus élevée se produit pour les loci les plus éloignés les uns des autres parce que la probabilité des enjambements augmente lorsque la distance entre loci est plus grande. Par conséquent le choix **D** est le meilleur. Admettons que cette carte ne présente qu'une portion du chromosome.
26. **D** Notons que deux options sont possibles tant pour le gène D (D et d) que pour le gène F (F et f). Par conséquent, tous les gamètes ont C, E et g. Il y a donc

$$1 \times 2 \times 1 \times 2 \times 1 = 4 \text{ gamètes.}$$

Hidden page

5. Quel est le critère le plus important permettant de savoir si deux populations appartiennent à la même espèce, quand celle-ci se reproduit de façon sexuée ?
 - A) Existence d'un habitat commun
 - B) Possibilité de croisement entre les deux populations
 - C) Ressemblances morphologiques
 - D) Production d'une descendance hybride viable et fertile
6. Une relation entre deux espèces, qui bénéficie à l'une d'entre elles mais pas à l'autre, sans pour autant lui nuire, est :
 - A) un mutualisme.
 - B) une symbiose.
 - C) un commensalisme.
 - D) un parasitisme.
7. Les ailes d'un oiseau et les ailes d'une mouche sont considérées comme :
 - A) des structures homologues.
 - B) des structures analogues.
 - C) A et B sont correctes.
 - D) ni A, ni B.
8. Considérons une population de personnes aux yeux bruns et aux yeux bleus. Si les yeux bruns sont dominants par rapport aux yeux bleus, et si la fréquence des personnes aux yeux bleus est de 0,16, la fraction des personnes aux yeux bruns hétérozygotes est :
 - A) 0,48.
 - B) 0,57.
 - C) 0,66.
 - D) 0,42.
9. Les groupes de sang A et B manifestent :
 - A) une dominance complète.
 - B) une dominance incomplète.
 - C) une codominance.
 - D) aucune dominance.
10. Un lapin brun s'accouple avec une lapine blanche. Tous les lapereaux de la génération F₁ sont brun clair. Les lapins de F₁ s'accouplent entre eux et donnent une génération F₂ dans laquelle tous les lapereaux sont brun clair. Pour les lapins brun clair de la génération F₁, la meilleure explication est que l'on a affaire à :
 - A) une dominance complète.
 - B) une dominance incomplète.
 - C) une codominance.
 - D) aucune dominance.
11. Chez les bovins, un locus spécifique du chromosome 9 code pour le caractère concernant la présence de cornes (dominant) ou l'absence de cornes (récessif). Un locus du chromosome 6 code pour des poils courts (dominant) ou des poils longs (récessif). Quel est le rapport obtenu lors du croisement de bovins cornus aux poils courts ?
 - A) 1 cornu aux poils longs : 1 sans corne aux poils courts
 - B) 3 cornus aux poils courts : 1 sans corne aux poils longs

<http://coursdemedecine.blogspot.com/>

- C) 9 cornus aux poils courts : 1 sans corne aux poils courts
 D) 9 cornus aux poils longs : 1 sans corne aux poils courts
12. La dérive génétique correspond à :
- A) une migration de gènes et une variation accrue qui bouleversent l'équilibre de Hardy-Weinberg.
 B) tous les gènes d'une population.
 C) une spéciation répétée dans divers types écologiques.
 D) des changements aléatoires de la fréquence des gènes dus à la petite taille de la population.
13. Un ovocyte adulte non fécondé contient deux chromosomes **X**. Cette situation est probablement due à :
- A) une méiose normale.
 B) une mitose normale.
 C) une absence de disjonction lors de la méiose.
 D) un assortiment indépendant lors de la méiose ou de la mitose.
14. Après plusieurs heures, une corneille n'a plus peur d'un épouvantail. À quel type d'apprentissage doit-on ce changement ?
- A) Au mimétisme
 B) À la sensibilisation
 C) À l'accoutumance
 D) À l'empreinte
15. Chez *Drosophila*, les ailes frisées sont dues à un caractère héréditaire rare. Une femelle aux ailes frisées est accouplée à un mâle aux ailes droites. La moitié des descendants obtenus, mâles et femelles, ont les ailes frisées. Le gène qui détermine cette caractéristique est vraisemblablement :
- A) autosomique dominant.
 B) autosomique récessif.
 C) récessif lié au sexe.
 D) Les deux premiers.
16. Nous étudions un caractère dans une famille. Les deux parents sont hétérozygotes pour ce caractère. Dans leur descendance, le caractère s'exprime chez 3 individus sur 4. Le mode de transmission héréditaire le plus vraisemblable est :
- A) autosomique dominant.
 B) autosomique récessif.
 C) lié au sexe.
 D) une mutation aléatoire.
17. Un chercheur essaie de déterminer l'ordre de quatre gènes (A, B, C et D) sur un chromosome. Les résultats découlant des nombreuses recombinaisons des quatre gènes sur un seul chromosome sont donnés dans le tableau suivant :
- Fréquences de recombinaisons

	A	B	C	D
A	0	24	42	37
B	24	0	38	10
C	42	38	0	23
D	27	10	23	0

En s'appuyant sur ces données, l'ordre des gènes sur le chromosome est vraisemblablement :

- A) BCAD.
- B) BACD.
- C) ABDC.
- D) ADBC.

18. L'expression taxonomique correcte est :

- A) *homo sapiens*
- B) *homo Sapiens*
- C) *Homo sapiens*
- D) *Homo Sapiens*

19. Les termes sont classés selon leur rang dans l'ordre croissant suivant :

- A) genre, classe, famille, ordre.
- B) espèce, famille, ordre, classe.
- C) ordre, famille, classe, embranchement.
- D) règne, embranchement, classe, genre.

20. Les espèces A, B et C sont soumises à des essais contrôlés en champ. Nous ajoutons des représentants de l'espèce A à un écosystème où les espèces A, B et C sont en équilibre. Nous introduisons ensuite, dans les mêmes conditions, des individus de l'espèce B, puis de l'espèce C. Le nombre d'individus des différentes espèces se modifie comme suit :

Espèces ajoutées		Modifications	
A	Diminution de B	Augmentation de C	
B	Augmentation de A	Diminution de C	
C	Augmentation de A	Augmentation de B	

La relation écologique la plus vraisemblable entre les espèces A, B et C est :

- A) C se développe aux dépens de A qui se développe aux dépens de B.
- B) A et B se développent aux dépens de C et sont en compétition.
- C) B se développe aux dépens de C et C aux dépens de A.
- D) A et B sont des prédateurs ; B et C sont des proies.

21. Dans une vaste population, admettons que tout le monde soit AA, Aa ou aa en ce qui concerne un caractère : 50% des enfants AA, 75% des individus Aa et 5% des individus aa survivent après la puberté. Le terme le plus approprié pour désigner cette situation est :

- A) liaison.
- B) pénétrance incomplète.
- C) dominance incomplète.
- D) vigueur hybride.

22. Le génotype d'un organisme est XxYyZz. Quelle fraction de ses gamètes est Xyz ou xYZ ?

- A) 1/2

- B) $1/4$
C) $1/6$
D) $1/8$
23. Chez les humains, les yeux bruns sont dominants par rapport aux yeux bleus. Un homme aux yeux bruns, dont les parents ont respectivement les yeux bleus et bruns, épouse une femme aux yeux bleus. Quelle est la probabilité pour qu'ils aient, dans l'ordre, quatre enfants aux yeux bleus et deux enfants aux yeux bruns ?
A) $1/1024$
B) $1/128$
C) $1/256$
D) $1/64$
24. Un homme soupçonne sa femme de lui avoir été infidèle à une certaine période de leur vie commune. Il engage un détective privé pour étudier la situation ; jusqu'à présent, ses recherches n'ont apporté aucune preuve d'infidélité. Convaincu de cette infidélité, le mari engage un généticien pour réexaminer la question.
Le généticien note que le couple a eu trois enfants. Il note également que le daltonisme pour les couleurs rouge-verte, caractère héréditaire récessif lié au sexe, est présent dans la famille. Au cours de ses investigations, le généticien constate que, de ces trois enfants, un fils est daltonien, l'autre a une vue normale et la fille est daltonienne. Les deux parents ont une vue normale. L'homme a-t-il la confirmation génétique de ses soupçons ?
A) Oui, car un des fils est daltonien
B) Oui, car un des fils est normal
C) Oui, car la fille daltonienne
D) Non, car aucune preuve génétique ne confirme ses soupçons
25. Quelle affirmation concernant les graines n'est pas vraie ?
A) Les graines assurent une survie plus longue aux embryons végétaux.
B) Les graines contiennent des réserves d'énergie pour l'embryon de la plante.
C) Les graines sont généralement sensibles à la dessiccation.
D) Toutes les propositions sont correctes.
26. Quel groupe de plantes renferme le plus grand nombre d'espèces ?
A) Les bryophytes
B) Les sphénophytes
C) Les coniférophytes
D) Les anthophytes
27. Quel tissu trouve t-on au centre d'une tige végétale ?
A) Le cambium externe
B) Le phloème
C) La moelle
D) L'écorce
28. Les parties reproductrices d'une fleur sont :
I) Les sépales
II) Les étamines

- III) Les carpelles
 - IV) Les stomates
 - A) I et II
 - B) II et III
 - C) I, II et III
 - D) I, II, III et IV
29. Quel mécanisme une plante non vasculaire utilise-t-elle pour transporter l'eau dans la plante ?
- A) la diffusion
 - B) la capillarité
 - C) le flux cytoplasmique
 - D) tous les trois
30. La source ultime de toute variabilité génétique est :
- A) la mutation.
 - B) la recombinaison.
 - C) l'enjambement.
 - D) l'indépendance des caractères.
31. Quelles structures trouve-t-on dans les cellules végétales et pas dans les cellules animales ?
- I) Les chloroplastes
 - II) Les mitochondries
 - III) Les parois cellulaires
 - IV) Le réticulum endoplasmique
 - A) I et IV
 - B) I et III
 - C) III et IV
 - D) II et III

9^e groupe de solutions

1. **D** L'équilibre de Hardy-Weinberg imagine les conditions de l'équilibre génétique. La dérive génétique, les mutations, l'émigration et l'immigration s'opposent à l'équilibre de Hardy-Weinberg car elles écartent la population de l'équilibre génétique en modifiant les génotypes qui la composent. L'équilibre de Hardy-Weinberg implique une reproduction aléatoire.
2. **D** Pour être le « mieux adapté », il faut produire la descendance fertile la plus grande. Une descendance importante, mais qui ne se reproduit pas, est un handicap au point de vue de la sélection naturelle. Par conséquent, la proposition **A** n'est pas le meilleur choix car elle ne tient pas compte de la fertilité.
3. **A** Cette proposition est le meilleur choix. Pour être hémophile, un homme doit avoir reçu un chromosome X^h de sa mère. Le père ne transmettant qu'un chromosome **Y** à son fils, les propositions **B** et **C** sont sans fondement. Si la mère du prince a transmis un X^h , elle était, selon toute vraisemblance, hétérozygote. Il est très rare qu'une femme possède deux chromosome X^h . Sa sœur ne peut être hémophile que si le père était hémophile et la mère hémophile ou hétérozygote.

4. **A** Si une personne du groupe sanguin A (AO) s'unit à une personne du groupe B (BO), leur enfant peut être du groupe B. Une personne du groupe sanguin A possède les antigènes pour le groupe A et des anticorps contre le groupe B. Une personne du groupe A peut recevoir du sang du groupe O (donneur universel) et ne peut donner du sang qu'aux receveurs des groupes A et AB.
5. **D** Les membres d'une même espèce devraient être capables de se croiser et de produire des descendants viables et fertiles. Par exemple, le chien et le chat sont des espèces différentes car ils ne peuvent donner de descendants viables. Le croisement entre une jument et un âne est possible et donne un descendant viable (le mulet) ; le mulet est cependant stérile. Par conséquent, les chevaux et les ânes appartiennent à des espèces différentes.
6. **C** Le commensalisme se rencontre quand la relation entre deux espèces est telle qu'elle bénéficie à l'une des espèces sans que l'autre n'en tire profit ou ne soit lésée. Dans le mutualisme, les deux parties bénéficient de l'association. La symbiose permet à un organisme de vivre en harmonie avec un autre et d'en tirer profit. Le parasitisme correspond à une relation dans laquelle une partie bénéficie de l'association aux dépens de l'autre.
7. **B** Les structures analogues ont des origines ontogénétiques différentes contrairement aux structures homologues. Les ailes des oiseaux et des chauves-souris sont des exemples de structures homologues.
8. **A** Dans la formule de Hardy-Weinberg ($p^2 + 2pq + q^2 = 1$), le terme q^2 vaut 0,16 ; par conséquent, $q = 0,4$. Donc $p = 0,6$, puisque $p + q = 1$. La proportion d'individus aux yeux bruns hétérozygotes est égale à : $2pq = 1 - p^2 - q^2 = 0,48$.
9. **C** La réponse est une codominance, car ni le groupe A, ni le groupe B n'est dominant sur l'autre. De ce fait, les patients peuvent être du groupe AB. Les deux caractères s'expriment en cas de codominance ; dans certains cas, le phénotype est intermédiaire (le croisement de plantes à fleurs rouges et de plantes à fleurs blanches peut donner des fleurs roses).
10. **B** Dans cet exemple de dominance incomplète classique, le phénotype est intermédiaire entre ceux des parents. Une dominance complète donnerait uniquement des lapins bruns.
11. **A** Nous devrions retrouver le rapport 9 : 3 : 3 : 1 classique du dihybridisme. Ce rapport signifie que, sur 16 individus provenant du croisement, 9 sont des doubles dominants, 3 montrent une dominance pour l'un ou l'autre gène et 1 est un double récessif. Pour cette question, 9/16 possèdent des cornes et des poils courts, 3/16 ont des cornes et des poils longs, 3/16 n'ont pas de cornes et ont un poil court et 1/16 n'a pas de cornes mais un poil long. La proposition **A** est correcte car le rapport entre animaux à cornes et poils longs et animaux sans cornes et à poils courts est 3 : 3 autrement dit 1 : 1.
12. **D** La dérive génétique traduit les modifications aléatoires de la fréquence des gènes due à la faible taille de la population. Considérons, par exemple, une population de cinq individus. Si une de ces personnes a les cheveux roux et si elle est la seule à posséder un gène pour ce caractère, que deviendra la fréquence du gène en cas de problème pour cet individu ? Si, à la suite d'un accident aléatoire (être frappé par la foudre) cette personne était tuée, la fréquence du gène responsable de la couleur des cheveux serait fortement modifiée dans cette popula-

tion. Cet exemple montre comment la dérive génétique peut modifier les fréquences géniques dans une petite population.

13. **C** Un ovocyte adulte, non fécondé, ne devrait contenir qu'un chromosome sexuel. Étant donné que le spermatozoïde donne un chromosome sexuel, le fait d'avoir déjà deux chromosomes sexuels dans l'ovocyte non fécondé augmente le risque d'anomalie à la naissance. La cause la plus vraisemblable de ce problème est une absence de disjonction lors de la méiose.
14. **C** L'accoutumance est observée lorsqu'un stimulus, répété de nombreuses fois, devient familier à un organisme au point qu'il commence à y réagir différemment. Le mimétisme se produit lorsqu'une espèce bénéficie de sa ressemblance avec une autre espèce. Par exemple, un papillon peut posséder l'image d'un gros œil sur ses ailes qui le fait ressembler à un prédateur plus grand. Ce motif peut protéger le papillon de ses prédateurs. La sensibilisation apparaît lorsqu'un stimulus répété augmente la réponse ultime au stimulus. L'accoutumance est une sorte d'apprentissage qui entraîne une perte de sensibilité à un stimulus peu important. Par exemple, une souris n'est plus alertée par un bruit fort lorsque celui-ci est répétitif. L'empreinte est un apprentissage irréversible qui se produit à un moment critique du développement. Par exemple, des canetons qui éclosent et passent les premières heures de leur vie en présence d'un humain peuvent penser que celui-ci est leur mère.
15. **A** Posséder des ailes frisées en première génération semble être indépendant du sexe. De plus, on pourrait s'attendre à trouver des porteuses parmi les femelles si la forme de transmission était récessive liée au sexe. Par conséquent, le caractère est dominant. Une transmission autosomique dominante est plausible.
16. **B** Les maladies récessives sautent des générations parce que des hétérozygotes sont porteurs et ont un phénotype normal. Le caractère est autosomique car le sexe des parents et celui des descendants n'a pas d'importance.
17. **C** Plus deux loci sont éloignés l'un de l'autre sur un chromosome, plus leur fréquence de recombinaison est grande. Par conséquent A et C ont la fréquence la plus élevée (42), alors que B et D ont la plus faible (10). On peut supposer que A et C sont les plus éloignés et que B et D sont les plus proches. Étant donné que A et B sont plus proches que ne le sont A et D, la meilleure réponse est la proposition C.
18. **C** Le nom de genre doit commencer par une majuscule et être souligné (ou écrit en italique). Le nom d'espèce ne prend pas de majuscule, mais doit être souligné (ou écrit en italique).
19. **B** Selon leur rang, les groupes (taxons) se suivent dans l'ordre décroissant suivant : règne, embranchement, classe, ordre, famille, genre, espèce. Par conséquent, la proposition B donne une liste correcte.
20. **D** Pour cette question difficile, procédons par élimination. Remarquons que l'introduction de l'espèce C favorise A et B. C est vraisemblablement une nourriture, ou une proie, pour A ou pour B. Notons que l'addition de A est défavorable à B et favorable à C. Ce constat suggère que A est un prédateur de B et que la réduction de B augmente le nombre d'individus C ; cette hypothèse est correcte si B est prédateur de C.

21. **D** Les hétérozygotes se comportent mieux que les homozygotes. C'est la vigueur hybride (hétérosis). La liaison implique normalement la présence de deux gènes sur un chromosome spécifique : c'est le cas des caractères liés au sexe, comme le daltonisme. Le gène du daltonisme est lié au chromosome sexuel **X**. La pénétrance incomplète se réfère à une situation dans laquelle un génotype ne se traduit pas toujours par le phénotype prévu. Par exemple, nous devrions nous attendre à voir certaines maladies autosomiques dominantes affecter la moitié d'une famille. Nous observons effectivement la maladie chez la moitié des membres de la famille, mais certains sont atteints à des degrés divers. Certains membres de la famille possédant le gène de la maladie sont très handicapés, alors que d'autres manifestent à peine des signes de la maladie.
22. **B** La fraction des zygotes Xyz est égale à $(1/2)^3$. La fraction des zygotes xYZ est égale à $(1/2)^3$. La fraction des Xyz ou des xYZ est égale à $1/8 + 1/8 = 1/4$.
23. **D** L'homme est hétérozygote, Bb . La femme est homozygote récessive, bb . Le croisement $Bb \times bb$ donne $1/2$ de descendants aux yeux bruns et $1/2$ de descendants aux yeux bleus. La probabilité d'avoir quatre enfants aux yeux bleus et deux aux yeux bruns, dans l'ordre, est de $(1/2)^6$ soit $1/64$.
24. **C** Pour avoir une fille daltonienne, les deux parents doivent avoir un gène X^c . Étant donné que le père a une vision normale et que les hommes ne peuvent pas être porteurs des caractères liés au sexe, la femme de cet homme a eu une liaison extraconjugale.
25. **C** Les propositions **A** et **B** sont correctes. Les graines donnent un avantage significatif aux plantes à graines (spermatophytes) car elles protègent l'embryon et contiennent des réserves énergétiques qui lui sont destinées. La proposition **C** est incorrecte : les graines protègent l'embryon de la plante contre la dessiccation. L'évolution de la graine permet la reproduction des plantes dans des environnements qui ne sont pas humides. **D** est incorrecte.
26. **D** Les angiospermes (embranchement des anthophytes) représentent le groupe qui possède le plus d'espèces, c'est-à-dire approximativement 250 000 espèces différentes. Les autres embranchements cités comprennent les bryophytes (mousses), les sphénophytes (prêles) et les coniférophytes (conifères). Ces embranchements contiennent tous beaucoup moins d'espèces.
27. **C** La moelle est un tissu qui se trouve au centre d'une tige ou d'un tronc. Son rôle est le stockage de la nourriture pour la plante. Le cambium externe se situe juste à l'intérieur de la couche externe de liège d'un tronc d'arbre. Il est nettement plus externe que la couche médullaire et son rôle est la production de nouvelles cellules de liège. La couche phellodermique de l'écorce est la première couche à l'intérieur du cambium externe. Elle est aussi à l'extérieur de la moelle et sert au stockage de la nourriture. Le phloème se trouve à l'intérieur de la couche corticale mais à l'extérieur de la moelle. Le phloème intervient dans le transport des nutriments au travers de la tige ou du tronc.
28. **B** Les parties reproductrices d'une fleur sont les étamines et le (ou les) carpelle(s). Les étamines produisent des grains de pollen (gamétophytes mâles). Le carpelle contient l'ovaire. L'ovaire contient un ou plusieurs ovules. Un ovule contient un gamétophyte femelle. Les sépales servent à protéger le bourgeon floral avant son éclosion. Les sépales sont habituellement des structures vertes épaies.

sies qui enveloppent un bourgeon floral fermé (e.g., un bouton de rose). Les stomates sont de minuscules pores dans les feuilles des plantes ; ils traversent la couche épidermique d'une feuille pour permettre les échanges gazeux avec l'atmosphère.

- 29. **D** Les plantes non vasculaires ne possédant pas de tubes (xylème) pour conduire l'eau à l'intérieur de la plante, elles utilisent la diffusion, la capillarité et le flux cytoplasmique pour distribuer l'eau dans toute la plante.
- 30. **A** Seules les mutations introduisent une nouvelle structure d'ADN dans le génome. La recombinaison et l'enjambement ne font que réarranger les loci génétiques existants.
- 31. **B** Les cellules végétales diffèrent des cellules animales par plusieurs structures particulières. Elles renferment des chloroplastes, une vacuole centrale, une paroi cellulaire et des plasmodesmes. Les cellules animales et végétales contiennent des mitochondries et du réticulum endoplasmique.

Hidden page

En bref...

Indispensable à l'apprentissage et à la révision, cet ouvrage traite des concepts fondamentaux de la biologie cellulaire et moléculaire, de la physiologie, de la génétique et de l'évolution, tant dans le règne animal que chez les végétaux et les micro-organismes.

Tous les moyens didactiques sont mis à profit pour offrir à l'étudiant un condensé de la matière enseignée dans un cours de biologie générale : un style clair et efficace, des schémas sobres et récapitulatifs, des tableaux synthétiques.

En fin de volume, des questions, accompagnées de leur solution, offrent au lecteur la possibilité de vérifier sa bonne compréhension de la matière.

Stephen D. BRESNICK

University of California, San Diego

Pierre DELORME

Professeur des Universités honoraire, Lille 1

Jules BOUHARMONT

Professeur émérite de l'Université catholique de Louvain

Charles-Marie EVRARD

Professeur émérite de l'Université catholique de Louvain

<http://coursdemedecine.blogspot.com/>



ISSN 1373-0185
BRESNICK
ISBN 2-8041-4409-7

Copyrighted material

Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

