



PREMIÈRE PARTIE

Éléments de microbiologie

Tel un astronaute qui découvre une planète éloignée, nous abordons un nouveau monde fabuleux, celui des microbes, de minuscules organismes vivants invisibles à l'œil nu. Le grand thème du présent ouvrage est la relation qui existe entre les microbes et nous. Le premier chapitre vous présente un bref historique de la microbiologie ainsi que la grande diversité des microorganismes qui nous entourent et nous habitent. Le chapitre 2 vous introduit à la microscopie et à quelques techniques de coloration, des outils de prédilection pour visualiser les microorganismes. Au chapitre 3, nous examinons en détail leur structure cellulaire par une étude comparative des cellules procaryotes et des cellules eucaryotes et au chapitre 4, nous étudions comment les microbes se nourrissent et se reproduisent.

Sommaire

Chapitre 1

Le règne des microbes et nous

Chapitre 2

L'observation des microorganismes au microscope

Chapitre 3

Anatomie fonctionnelle des cellules procaryotes et des cellules eucaryotes

Chapitre 4

La croissance microbienne

Le règne des microbes et nous



La relation qui existe entre les microbes et nous comprend non seulement les effets nocifs familiers de certains microorganismes, tels que la maladie et les aliments gâtés, mais aussi leurs nombreux effets bénéfiques. Dans le présent chapitre, nous vous donnons quelques exemples de l'influence que les microbes exercent sur nos vies. Vous verrez au cours de notre bref historique de la microbiologie qu'ils sont, depuis nombre d'années, l'objet d'études qui ne cessent de porter leurs fruits. Nous présenterons ensuite l'incroyable diversité des microorganismes. Puis, nous examinerons leur importance écologique, notamment comment ils contribuent à l'équilibre de l'environnement en favorisant la circulation des éléments chimiques tels que le carbone et l'azote entre le sol, les êtres vivants et l'atmosphère. Nous nous pencherons ensuite sur leur utilisation dans le commerce et l'industrie pour la préparation d'aliments, de produits chimiques et de médicaments (comme la pénicilline) ainsi que pour le traitement des eaux usées, la lutte contre les animaux nuisibles et le nettoyage des sites pollués. Enfin, nous traiterons des maladies infectieuses émergentes comme celles causées par les bactéries multi-résistantes aux antibiotiques.

Dans le présent manuel, nous utilisons les termes « germes », « microbes » et « microorganismes » comme des synonymes, afin de simplifier le vocabulaire. Toutefois, selon plusieurs sources consultées, en français, le terme « microbe » (ainsi que le terme « germe ») fait référence à un microorganisme unicellulaire pathogène (sens moderne et en médecine), et le sens où il est synonyme du mot « microorganisme » est considéré comme vieilli. L'expression « agents pathogènes » désigne à la fois des organismes microscopiques et des organismes visibles à l'œil nu, tels les arthropodes et les vers, capables de causer des maladies.

Q/R

Dans leurs messages publicitaires, les fabricants d'agents de nettoyage nous disent que nos maisons sont peuplées de bactéries et de virus, et qu'il nous faut acheter leurs produits antimicrobiens. Doit-on se laisser convaincre?

La réponse est dans le chapitre.



AU MICROSCOPE

Bactéries de la langue. La plupart des bactéries qui se trouvent dans notre bouche sont inoffensives.

Les microbes dans nos vies

► Objectif d'apprentissage

1-1 Donner des exemples de l'importance des microbes dans nos vies.

Pour beaucoup, les mots «germe» et «microbe» évoquent un groupe de bestioles minuscules qui ne semblent appartenir à aucune des catégories auxquelles on pense quand on pose la fameuse question : «Est-ce animal, végétal ou minéral?» Les microbes, aussi appelés **microorganismes**, sont des êtres vivants qui sont trop petits pour être visibles à l'œil nu. Le groupe comprend les bactéries (chapitre 6), les mycètes (levures et moisissures), les protozoaires et les algues microscopiques (chapitre 7). Il inclut aussi les virus, ces entités non cellulaires que l'on considère parfois comme situées à la limite entre le vivant et le non-vivant (chapitre 8). Nous vous présenterons plus loin chacun de ces groupes de microbes.

On a tendance à associer ces petits organismes seulement aux grandes maladies comme le sida, au rhume et à la grippe ou à certains désagréments communs tels que les aliments gâtés. Cependant, la majorité des microorganismes jouent un *rôle indispensable* dans le bien-être des habitants de la Terre en participant au maintien de l'équilibre écologique entre les organismes vivants et les composants chimiques dans l'environnement. Les microorganismes – qu'ils soient d'eau salée ou d'eau douce – sont les premiers maillons de la chaîne alimentaire des océans, des lacs et des rivières. Les microbes dans le sol contribuent à la dégradation des déchets et à l'incorporation de l'azote de l'air dans les composés organiques, favorisant ainsi le recyclage des éléments chimiques dans le sol, l'eau, l'air et la matière vivante. Certains microbes jouent un rôle important dans la photosynthèse : la nourriture et le dioxygène (O₂) produits par ce processus sont essentiels à la vie sur Terre. Les humains et beaucoup d'autres animaux dépendent des microbes présents dans leurs intestins pour bien digérer et faire la synthèse de quelques vitamines nécessaires à l'organisme, dont certaines vitamines B pour le métabolisme et la vitamine K pour la coagulation du sang.

Les microorganismes servent aussi dans un grand nombre d'applications industrielles. On les utilise dans la synthèse de l'acétone (propanone), de certains acides (acides carboxyliques), de vitamines, d'enzymes, d'alcools et de beaucoup de médicaments. Le procédé par lequel les microbes produisent de l'acétone et du butanol a été mis au point en 1914 par Chaim Weizmann, chimiste d'origine russe travaillant en Angleterre. En août de cette année-là, la Première Guerre mondiale éclatait et l'acétone, qu'on pouvait dès lors obtenir en grande quantité, était employée pour fabriquer la cordite (poudre à canon), un composant des munitions. Le procédé de Weizmann a contribué pour beaucoup à l'issue de la guerre.

L'industrie alimentaire utilise aussi les microbes pour préparer du vinaigre, de la choucroute, des cornichons, des boissons alcoolisées, des olives vertes, de la sauce soja, du babeurre, du fromage, du yogourt et du pain. Grâce aux progrès récents de la science et de la technologie, on peut maintenant manipuler génétiquement les microbes de telle sorte qu'ils produisent des substances qu'ils ne synthétisent pas normalement. Ces produits sont, entre autres, la cellulose, des eupéptiques (additifs qui facilitent la digestion) et des nettoyeurs d'égouts, ainsi que des substances thérapeutiques

importantes comme l'insuline. À ce propos, votre blue-jean préféré a peut-être été traité au moyen d'enzymes fabriquées exprès par des microbes modifiés (**encadré 1.1**).

Bien qu'il n'y ait qu'un petit nombre de microorganismes **pathogènes** (susceptibles de causer des maladies), une connaissance pratique des microbes est nécessaire en médecine et dans les sciences de la santé connexes.



Par exemple, le personnel hospitalier doit être en mesure de protéger les patients contre les microbes communs qui sont normalement inoffensifs mais qui peuvent menacer les malades et les blessés.

On sait aujourd'hui que des microorganismes sont présents presque partout. Toutefois, il n'y a pas si longtemps, avant l'invention du microscope, les microbes étaient inconnus des scientifiques. Des milliers de personnes mouraient au cours d'épidémies dévastatrices, dont on ne comprenait pas les causes. On était souvent impuissant à empêcher que les aliments ne se gâtent, et des familles entières étaient emportées parce qu'il n'existait pas de vaccins et d'antibiotiques pour combattre les infections.

Nous pouvons entrevoir comment les idées actuelles en microbiologie ont pris forme en rappelant quelques-uns des événements marquants qui ont changé notre vie dans ce domaine. Mais auparavant, nous allons donner un aperçu des principaux groupes de microbes et des règles qu'on emploie pour les nommer et les classer.

► Vérifiez vos acquis

Donnez quelques exemples de l'utilité et des effets néfastes des microbes.
1-1*

L'appellation et la classification des microorganismes

► Objectifs d'apprentissage

- 1-2** Reconnaître le système de nomenclature scientifique suivant lequel on utilise deux mots : le premier pour désigner le genre et le second, l'espèce.
- 1-3** Distinguer les principales caractéristiques des groupes de microorganismes.
- 1-4** Nommer les trois domaines qui regroupent tous les organismes vivants.

La nomenclature

Le système de nomenclature des organismes utilisé aujourd'hui a été mis au point en 1735 par Carl von Linné. Les noms scientifiques sont en latin parce que, à l'époque de Linné, c'était la langue employée par les savants. Suivant la nomenclature scientifique, l'appellation de chaque organisme est formée de deux mots : le premier désigne le **genre** et il porte toujours la majuscule ; le second est une **épithète spécifique** (qui désigne l'**espèce**) sans majuscule. Pour parler d'un organisme, on utilise les deux mots, qui sont

* Cette indication renvoie à l'objectif d'apprentissage qui porte le même numéro.

Le blue-jean : vêtement griffé... par un microbe !

La popularité des jeans en toile bleue n'a cessé de croître depuis que Levi Strauss et Jacob Davis les ont conçus pour les chercheurs d'or californiens en 1873. À l'heure actuelle, nombre d'usines à travers le monde les manufacturent. Au cours des années, le procédé de fabrication n'a guère été modifié. Aujourd'hui, les sociétés qui produisent la toile des jeans et ses dérivés se tournent vers la microbiologie pour mettre au point des méthodes de production fiables qui diminuent à la fois la quantité de déchets toxiques et les frais qui sont associés à leur traitement. Ces procédés sont non seulement moins coûteux, mais ils fournissent également des matières premières abondantes et renouvelables.

Le jean « délavé »

Dans les années 1980, une toile plus souple, dite « délavée à la pierre », a fait son apparition. L'étoffe n'est pas vraiment lavée à la pierre. Ce sont des enzymes appelées *cellulases*, produites par le champignon *Trichoderma*, qui digèrent une partie de la cellulose du coton et, de ce fait, l'assouplissent. Contrairement aux conditions extrêmes qu'exigent les procédés chimiques, les réactions enzymatiques ont habituellement lieu à des températures et à des pH modérés. De plus, les enzymes sont des protéines ; elles se dégradent donc facilement, ce qui facilite leur élimination des eaux usées.

Le coton

La toile des jeans est à base de coton. Pour croître, les plants de coton ont besoin d'eau, d'engrais coûteux et de pesticides souvent nuisibles à la santé. La production de coton repose sur les conditions météorologiques et sur la résistance des plantes aux maladies. Certaines bactéries peuvent produire à la fois du coton et des polyesters, et ce, avec moins d'impacts environnementaux. *Gluconacetobacter xylinus* est une bactérie qui sécrète des bandes de cellulose étroites et spiralées grâce auxquelles elle peut s'ancrer à son substrat. La cellulose est produite par l'assemblage, en chaînes, d'unités de glucose qui forment des microfibrilles. Par le biais d'un pore, les microfibrilles de cellulose sont libérées à la surface de la membrane externe de la bactérie, où les paquets qu'elles forment sont entortillés en rubans. Une colonie de *G. xylinus* sécrète de grandes quantités de fibres en quelques heures.

Le blanchiment

Le peroxyde est un agent de blanchiment moins dangereux que le chlore, et il peut être facilement éliminé du tissu et des eaux usées par une enzyme, la peroxydase. Des chercheurs de Novo Nordisk Biotech ont extrait d'un mycète un gène de peroxydase,

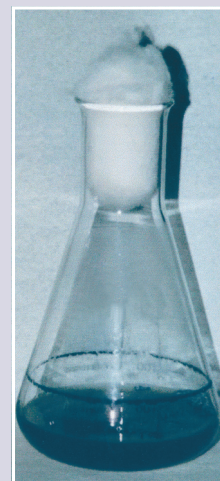
qu'ils ont cloné dans une levure. Ils ont cultivé celle-ci dans des conditions semblables à celles qui prévalent dans une machine à laver le linge et ils ont sélectionné les organismes survivants pour obtenir une souche commercialisable de levure productrice de peroxydase.

L'indigo

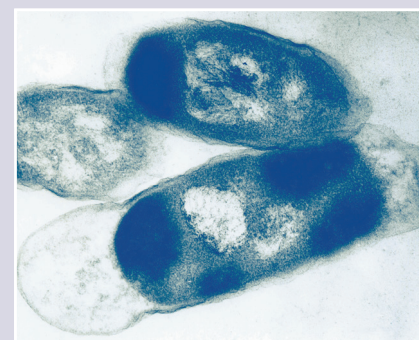
La synthèse chimique de l'indigo exige un pH élevé et produit des déchets qui explosent au contact de l'air. Genencor, une société de biotechnologie californienne, a mis au point un procédé qui permet d'obtenir de l'indigo à partir de bactéries. Dans les laboratoires de Genencor, *Escherichia coli* arbore une teinte bleue après avoir incorporé le gène d'une bactérie du sol, *Pseudomonas putida*, qui permet de transformer l'indole en indigo. En ayant recours à la mutagenèse dirigée et en modifiant certaines conditions du milieu dans lequel vit *E. coli*, les scientifiques sont capables de lui faire augmenter sa production d'indigo. Une autre société, W. R. Grace, cultive un mycète muté qui produit aussi de l'indigo.

Le plastique

Les microorganismes peuvent même fabriquer des fermetures éclair en plastique et du matériel d'emballage pour les jeans. Plus de 25 bactéries produisent du polyhydroxyalcanoate (PHA), qu'elles emmagasinent dans des réserves de nutriments appelées *inclusions*. Le PHA est similaire à d'autres plastiques connus, mais étant d'origine bactérienne, il est facilement dégradé par de nombreuses bactéries. Il est donc un plastique biodégradable qui pourrait remplacer les plastiques traditionnels dérivés du pétrole.



Bactéries *E. coli* produisant de l'indigo



L'indigo est fabriqué à partir du tryptophane par *E. coli*, une bactérie.

0,3 μm

MET



soulignés ou écrits en italique. On a l’habitude, après avoir mentionné un nom scientifique une fois, de l’abréger en écrivant la lettre initiale du genre suivie de l’épithète spécifique.

Les noms scientifiques peuvent, entre autres choses, décrire l’organisme, rendre hommage à un chercheur ou nommer l’habitat d’une espèce. Par exemple, considérons *Staphylococcus aureus*, une bactérie qui se trouve communément sur la peau des humains. *Staphylo-* décrit la disposition groupée des cellules; *-coccus* indique qu’elles ont la forme de sphères. L’épithète spécifique, *aureus*, signifie « doré » en latin : un grand nombre de colonies de cette bactérie sont de cette couleur. Le nom de genre de la bactérie *Escherichia coli* a été donné en l’honneur du scientifique Theodor Escherich, alors que son épithète spécifique, *coli*, nous rappelle qu’*E. coli* habite le côlon, ou gros intestin. Notons cependant que, dans les médias, les noms scientifiques latins des microbes ne sont pas très souvent utilisés ; ainsi, on parlera du staphylocoque doré au lieu de *Staphylococcus aureus* ou encore du bacille du tétanos au lieu de *Clostridium tetani*. On utilise alors le nom vernaculaire du microbe. Le **tableau 1.1** vous donne quelques exemples.

► Vérifiez vos acquis

Comment indique-t-on, dans la nomenclature, la différence entre le genre et l’espèce? **1-2**

Les types de microorganismes

Nous examinerons en détail la classification et l’identification des microorganismes au chapitre 5. Nous vous présentons ici un aperçu des principaux types de microorganismes, notamment les bactéries, les archéobactéries, les mycètes, les protozoaires et les algues. Nous traiterons aussi des virus, des prions et des parasites animaux pluricellulaires.

Les bactéries

Les **bactéries** (**figure 1.1a**) sont des organismes unicellulaires (une seule cellule) relativement simples dont le matériel génétique, représenté par un seul chromosome circulaire, n’est pas contenu dans une enveloppe nucléaire, mais forme néanmoins un nucléoïde,

soit la région nucléaire de la cellule. C’est pourquoi ces microorganismes sont dits **procaryotes**, d’après deux mots grecs signifiant « prénoyau ».

Les cellules bactériennes se présentent sous plusieurs formes. Les plus courantes sont les *bacilles* (bâtonnets), les *cocci* – coccus au singulier – (sphériques ou ovoïdes) et les formes *spiralées* (en tire-bouchon ou courbées), mais certaines bactéries sont carrées et d’autres ressemblent à des étoiles (figures 3.1, 3.2, 3.4 et 3.5). Elles peuvent former des paires, des chaînes, des amas ou d’autres regroupements ; ces associations sont habituellement caractéristiques d’espèces ou de genres particuliers de bactéries.

Les bactéries sont des cellules entourées d’une paroi rigide qui est composée principalement d’une substance complexe appelée *peptidoglycane*. (Par contraste, la cellulose est le principal composant de la paroi des cellules végétales et des cellules des algues.) En règle générale, les bactéries se reproduisent de façon asexuée en se divisant en deux cellules filles de taille égale ; ce processus s’appelle *division par scissiparité*. Elles se nourrissent pour la plupart de composés organiques qui, dans la nature, peuvent être dérivés d’organismes vivants ou morts. Les bactéries vivant sur et dans le corps humain en sont un bel exemple. D’autres bactéries peuvent produire leur propre nourriture par photosynthèse et certaines peuvent se servir de substances inorganiques (soufre, méthane, etc.) pour se nourrir. Beaucoup de bactéries, particulièrement les bacilles et les spirilles, peuvent se déplacer au moyen d’appendices mobiles appelés *flagelles*. (Nous traiterons en détail de la classification des bactéries au chapitre 6.)

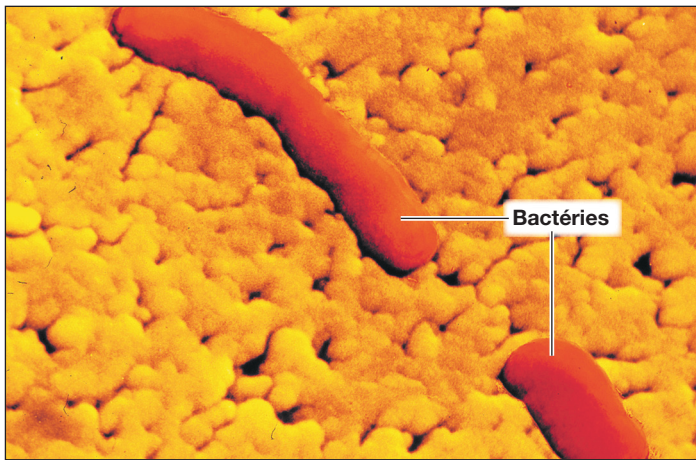
Les archéobactéries

Les **archéobactéries** tirent leur nom du grec *arkhaios-*, qui signifie « ancien ». Comme les bactéries, les archéobactéries sont des cellules procaryotes, mais elles présentent plusieurs différences tant sur le plan de la forme que sur ceux de la physiologie, du mode de reproduction et de l’habitat. Elles peuvent être entourées ou non d’une paroi cellulaire mais, si elles en ont une, cette dernière est dépourvue de peptidoglycane. Les archéobactéries, qu’on trouve souvent dans des milieux où règnent des conditions extrêmes, sont réparties

Tableau 1.1 Se familiariser avec les noms scientifiques

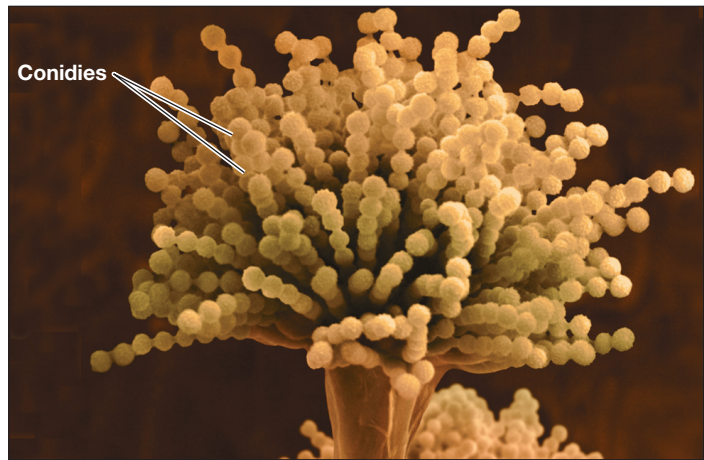
Il est intéressant de connaître la signification des noms scientifiques, car ils paraissent moins étranges si on en comprend le sens. Il est bon aussi de se familiariser avec de nouvelles appellations. Voici quelques exemples de noms de microbes utilisés tant par les médias qu’au laboratoire.

Nom scientifique	Origine du nom du genre	Origine de l’épithète spécifique
<i>Salmonella typhimurium</i> (bactérie)	Du nom du microbiologiste en santé publique Daniel Salmon	De la stupeur (<i>typh-</i>) provoquée chez les souris (<i>muri-</i>)
<i>Streptococcus pyogenes</i> (bactérie)	De l’apparence des cellules assemblées en chaînettes (<i>strepto-</i>)	De la formation (<i>-genes</i>) de pus (<i>pyo-</i>)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (levure)	De la propriété du mycète (<i>-myces</i>) qui utilise du sucre (<i>saccharo-</i>)	De son utilité pour la fabrication de la bière (<i>cerevisia</i>)
<i>Penicillium chrysogenum</i> (mycète)	De la forme évoquant un pinceau (<i>penicill-</i>) observée au microscope	Produit un pigment jaune (<i>chryso</i> = jaune)
<i>Trypanosoma cruzi</i> (protozoaire)	De la forme en tire-bouchon (<i>trypano-</i> = vrille; <i>soma</i> = corps) observée au microscope	Du nom de l’épidémiologiste Oswaldo Cruz



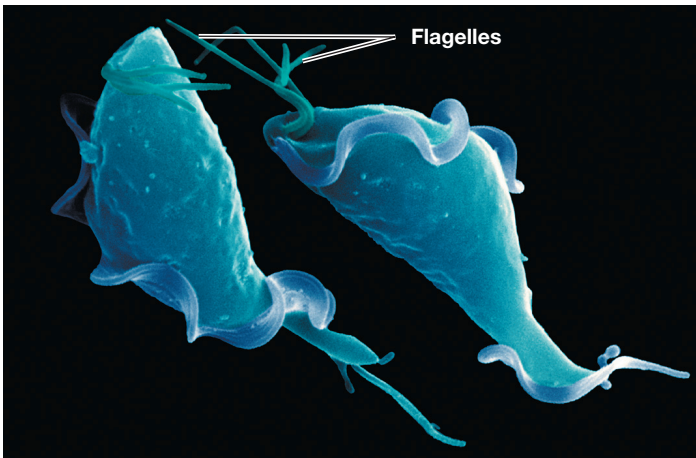
a) *Haemophilus influenzae*, bactérie en forme de bâtonnet, est une des causes de la pneumonie.

MEB

1,0 μm 

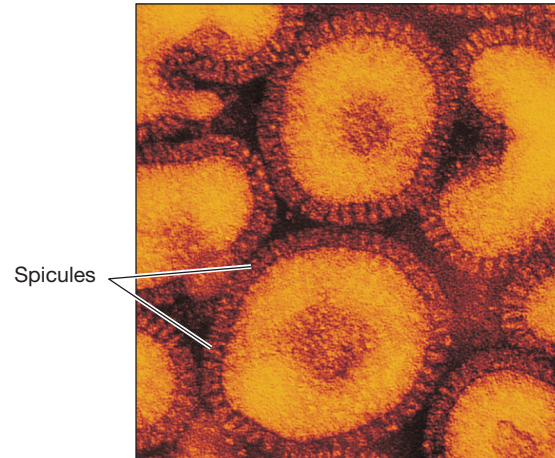
b) Le mycète *Aspergillus flavus* est une moisissure qui occasionne des allergies pulmonaires. C'est aussi un agent pathogène opportuniste à l'origine d'infections pulmonaires chez les immunodéprimés.

MEB

5 μm 

c) *Trichomonas vaginalis*, un protozoaire flagellé, est responsable d'infections des voies urinaires et génitales.

MEB

10 μm 

d) *Influenzavirus* est l'agent causal de la grippe.

MET

50 nm

Figure 1.1 Types de microorganismes. Note : Une pastille rouge sous une photo indique que la micrographie a été colorisée.

en plusieurs groupes parmi lesquels on compte : les *bactéries méthanogènes*, qui produisent du méthane comme déchet de la respiration ; les *bactéries halophiles extrêmes*, qui vivent dans des environnements extrêmement salés tels que le Grand Lac Salé ou la mer Morte ; les *bactéries thermophiles extrêmes*, qui vivent dans les eaux sulfureuses chaudes telles que les sources thermales du parc national de Yellowstone. Les archéobactéries ne semblent pas causer de maladies chez l'humain.

Les mycètes

Les **mycètes**, communément appelés *champignons*, sont des **eucaryotes**, c'est-à-dire des organismes dont les cellules possèdent un noyau distinct contenant le matériel génétique (plusieurs chromosomes formés d'ADN) et limité par une membrane particulière appelée *enveloppe nucléaire*. La paroi des cellules des mycètes est

composée principalement d'une substance appelée *chitine*. Le règne des mycètes comprend des organismes très variés ; certains peuvent être unicellulaires ou pluricellulaires. Certains gros mycètes pluricellulaires, tels nos champignons comestibles, peuvent ressembler à des plantes mais, contrairement à ces dernières, ils sont incapables de photosynthèse. Les formes unicellulaires des mycètes, nommées *levures*, sont des microorganismes ovales plus gros que les bactéries. Les mycètes pluricellulaires les plus typiques sont les *moisissures* (figure 1.1b). Les moisissures forment des masses visibles appelées *mycéliums*, constituées de longs filaments (*hyphes*) qui se ramifient et s'entrelacent. Les excroissances ouatées que l'on observe parfois sur le pain et les fruits sont des mycéliums de moisissures. Les mycètes se reproduisent en formant des spores de façon sexuée ou asexuée. La figure 1.1b montre la formation de conidies, une sorte de spores asexuées, qui s'assemblent en chaînette à l'extrémité d'un

hyphes aériens. Les mycètes se nourrissent en absorbant des solutions de matière organique tirées de leur environnement, qu'il s'agisse du sol, de l'eau de mer, de l'eau douce, d'un animal hôte ou d'une plante hôte. Certains organismes, appelés *protistes fongiformes*, possèdent à la fois des caractéristiques qui sont propres aux mycètes et d'autres qui sont propres aux amibes. Nous étudierons les mycètes et les protistes fongiformes au chapitre 7.

Les protozoaires

Les **protozoaires** sont des microorganismes unicellulaires de type eucaryote. De structure cellulaire complexe, les protozoaires sont entourés d'une membrane mais ne possèdent pas de paroi cellulaire. Ils ont des formes variées et peuvent être des entités libres ou des parasites – organismes se nourrissant aux dépens d'hôtes vivants – qui absorbent ou ingèrent des composés organiques de leur environnement. Les protozoaires se reproduisent soit de façon asexuée, soit de façon sexuée, et certains utilisent les deux modes. Très souvent mobiles, ils se déplacent au moyen de pseudopodes, de flagelles ou de cils. Les amibes utilisent des prolongements de leur cytoplasme appelés *pseudopodes* (= faux pieds). Certains protozoaires ont de longs *flagelles* (figure 1.1c) ou un grand nombre d'appendices de locomotion courts appelés *cils*. Nous étudierons les protozoaires au chapitre 7.

Les algues

Les **algues** sont des eucaryotes de formes très diverses, capables de photosynthèse et de reproduction aussi bien sexuée qu'asexuée. Les algues qui intéressent les microbiologistes sont habituellement unicellulaires (chapitre 7). Dans bien des cas, leur paroi cellulaire, comme celle des plantes, est composée de *cellulose*. Les algues se trouvent en abondance dans l'eau douce et l'eau salée, dans le sol et en association avec des plantes. Elles utilisent la photosynthèse pour produire leur nourriture et croître ; en conséquence, il leur faut de la lumière et de l'air, mais, en général, elles n'ont pas besoin des composés organiques de leur environnement. Grâce à la photosynthèse, elles produisent de l'oxygène et des glucides, qui sont consommés par d'autres organismes, dont les animaux. C'est ainsi qu'elles jouent un rôle important dans l'équilibre de la nature.

Les virus et les prions

Les **virus** (figure 1.1d) sont très différents des autres groupes de microorganismes mentionnés ici. Ils sont si petits que la plupart ne sont visibles qu'au microscope électronique et ils sont acellulaires, c'est-à-dire que ce ne sont pas des cellules proprement dites. De structure très simple, la particule virale n'est composée que d'une nucléocapside. Le matériel génétique, formé d'un seul type d'acide nucléique, soit d'ADN ou d'ARN, est entouré d'une *capside* protéique qui est parfois elle-même recouverte d'une membrane lipidique appelée *enveloppe*. Des protubérances protéiques, appelées *spicules*, couvrent parfois la surface du virus. Toutes les cellules vivantes possèdent de l'ARN et de l'ADN, sont capables de réactions chimiques et peuvent se reproduire en tant qu'unités auto-suffisantes. Les virus peuvent se répliquer, c'est-à-dire se reproduire, mais seulement s'ils utilisent la machinerie et l'énergie d'une cellule vivante. C'est ainsi que tous les virus sont des parasites intracellulaires obligatoires ; hors d'une cellule vivante, ils sont inertes.

Un **prion** est un agent pathogène de nature protéique qui, au contraire des autres types d'agents infectieux tels que les virus, les bactéries, les mycètes et les parasites, ne contient pas d'acide nucléique (ADN ou ARN) comme support génétique de son potentiel infectieux. Les prions sont responsables de maladies se manifestant par une dégénérescence du système nerveux central liée à leur multiplication chez l'individu atteint. (Nous étudierons les virus et les prions en détail au chapitre 8.)

Les parasites animaux pluricellulaires

Bien que les parasites animaux pluricellulaires ne soient pas, au sens strict, des microorganismes, nous les décrivons dans le présent ouvrage en raison de leur importance sur le plan médical. Les deux principaux groupes de vers parasites sont les vers plats et les vers ronds, appelés collectivement **helminthes**. Durant certains stades de leur cycle vital, les helminthes sont microscopiques. L'identification de ces organismes en laboratoire comprend plusieurs des techniques qui servent aussi à reconnaître les microbes. Nous étudierons les helminthes au chapitre 7.

Les arthropodes représentent aussi un groupe de parasites qui causent bien des soucis à l'humain, et ce, depuis la nuit des temps. Ces parasites vivent sur la peau, c'est-à-dire à la surface corporelle d'un individu : on les appelle **ectoparasites**. Chez l'humain, ce sont par exemple les poux, les punaises et les sarcoptes responsables de la gale. L'ectoparasite passe sa vie ou une partie de celle-ci sur la peau de son hôte ; il s'en nourrit en suçant son sang. Généralement nuisible, il cause des piqûres et des démangeaisons, et est souvent à l'origine d'épidémies redoutables.

► Vérifiez vos acquis

Quels groupes de microbes sont formés de procaryotes ? Lesquels sont constitués d'eucaryotes ? **1-3**

La classification des microorganismes

Avant que l'on connaisse l'existence des microbes, tous les organismes étaient regroupés soit dans le règne animal, soit dans le règne végétal. Avec la découverte, à la fin du XVIII^e siècle, d'êtres microscopiques ayant des caractéristiques semblables à celles des animaux ou des plantes, il devint nécessaire de mettre au point un nouveau système de classification. Cependant, il fallut attendre la fin des années 1970 pour que les biologistes s'entendent sur les critères à employer pour classer les nouveaux organismes qu'ils découvraient.

En 1978, Carl Woese proposa un système de classification fondé sur l'organisation cellulaire des êtres vivants. Il regroupa tous les organismes vivants en trois **domaines** de la façon suivante :

- Bactéries (la paroi cellulaire contient du peptidoglycane)
- Archéobactéries (s'il y a paroi cellulaire, elle est dépourvue de peptidoglycane)
- Eucaryotes, qui comprennent les groupes suivants :
 - Protistes (protistes fongiformes, protozoaires et algues)
 - Mycètes (levures unicellulaires, moisissures pluricellulaires et champignons au sens courant du terme)

- Plantes (ex.: mousses, fougères, conifères et plantes à fleurs)
- Animaux (ex.: éponges, vers, insectes et vertébrés)

Nous approfondirons les principes de la classification dans la deuxième partie du manuel (chapitres 5 à 7).

► Vérifiez vos acquis

Quels sont les trois domaines? **1-4**

Un bref historique de la microbiologie

► Objectifs d'apprentissage

- 1-5** Expliquer l'importance historique des observations de Hooke et de Leeuwenhoek effectuées à l'aide de leurs microscopes rudimentaires.
- 1-6** Comparer les théories de la génération spontanée et de la biogenèse.
- 1-7** Nommer les contributions de Needham, de Spallanzani, de Virchow, de Pasteur et de Lister à la microbiologie.
- 1-8** Expliquer l'importance des travaux de Pasteur quant au rôle des microbes dans les maladies et comment ces travaux ont influé sur ceux de Lister et de Koch.
- 1-9** Reconnaître l'importance des postulats de Koch dans l'approche étiologique (causes) des maladies.
- 1-10** Reconnaître l'importance des travaux de Jenner dans la prévention des maladies infectieuses.
- 1-11** Relever les contributions d'Ehrlich et de Fleming à la microbiologie.
- 1-12** Définir la bactériologie, la mycologie, la parasitologie, l'immunologie et la virologie.
- 1-13** Expliquer l'importance de la technologie de l'ADN recombinant.

Les débuts de la microbiologie en tant que science remontent à quelque 200 ans seulement. Toutefois, la découverte récente d'ADN de *Mycobacterium tuberculosis* dans des momies égyptiennes vieilles de 3 000 ans nous rappelle que les microorganismes sont parmi nous depuis très longtemps. En fait, la première cellule vivante sur Terre était une forme de bactérie primitive. Si on est relativement peu au courant de ce que les peuples primitifs savaient des maladies infectieuses – leurs causes, leur mode de transmission et leur traitement –, l'histoire des quelques derniers siècles est mieux connue. Nous allons maintenant examiner quelques faits marquants de l'évolution de la microbiologie qui ont contribué à faire progresser le domaine et ont préparé l'éclosion des technologies de pointe utilisées aujourd'hui.

Les premières observations

Une des plus importantes découvertes de l'histoire de la biologie s'est produite en 1665 à l'aide d'un microscope plutôt primitif. L'Anglais Robert Hooke annonce au monde que la plus petite unité structurale de l'être vivant est une « petite boîte » ou, pour employer son expression, une « cellule ». Se servant d'un microscope composé (ayant un jeu de deux lentilles) dont il a amélioré les propriétés, Hooke réussit à voir des cellules individuelles dans des préparations végétales. Sa découverte marque le début de la **théorie cellulaire**, selon laquelle *tous les êtres vivants sont constitués de cellules*. Les recherches qui suivent, sur la structure et les fonctions des cellules, sont fondées sur cette théorie.

Bien qu'il soit capable de montrer les cellules, le microscope de Hooke n'a pas le pouvoir de résolution nécessaire pour qu'on puisse voir clairement les microbes. Le marchand et scientifique amateur hollandais Antonie van Leeuwenhoek est probablement le premier à observer des microorganismes vivants à travers des lentilles grossissantes. En levant son microscope à la lumière, Leeuwenhoek parvient à observer des êtres vivants invisibles à l'œil nu. Il place le spécimen sur la pointe réglable d'une aiguille et il l'examine à travers une minuscule lentille presque sphérique montée dans un cadre de laiton. Le plus fort grossissement possible avec ces microscopes est d'environ 300 fois (300×). Il examine ainsi de l'eau de pluie, un liquide dans lequel des grains de poivre ont macéré, ses propres selles et de la matière qu'il a prélevée en se grattant les dents. Entre 1673 et 1723, il fait parvenir une série de lettres à la Royal Society of London décrivant les « animalcules » qu'il a vus à l'aide de son microscope. Ses dessins détaillés des « animalcules » observés permettront plus tard d'établir qu'il s'agit de bactéries et de protozoaires (**figure 1.2**).

► Vérifiez vos acquis

Qu'est-ce que la théorie cellulaire? **1-5**

Le débat sur la génération spontanée

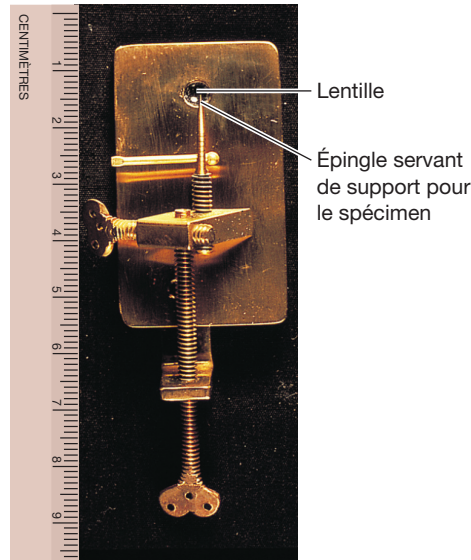
Après la découverte par Leeuwenhoek du monde jusque-là « invisible » des microorganismes, la communauté scientifique de l'époque commence à s'intéresser aux origines de ces minuscules êtres vivants. Jusqu'à la deuxième moitié du XIX^e siècle, beaucoup de scientifiques et de philosophes croient que *certaines êtres vivants peuvent être engendrés « spontanément » à partir de la matière non vivante*. Ce processus hypothétique, appelé **théorie de la génération spontanée**, était ardemment défendu depuis Aristote (384–322 av. J.-C.). Rappelons que, il y a 150 ans, on croyait communément que les crapauds, les serpents et les souris pouvaient naître de brindilles de paille sur un sol humide, les mouches du fumier et les asticots de cadavres en décomposition, et ce, par la simple action d'une force (énergie) vitale sur la matière inerte.

Pour beaucoup de scientifiques, les animalcules découverts par Leeuwenhoek constituent un nouvel argument en faveur de leurs croyances. Ces petits organismes, jusque-là invisibles, sont assez simples pour être engendrés spontanément par la matière inerte. La notion de génération spontanée des microorganismes semble même se confirmer en 1745 avec la découverte de l'Anglais John Needham : en versant des liquides nutritifs préalablement chauffés (bouillons de poulet ou de maïs) dans des bouteilles qu'il refermait hermétiquement, il a constaté que des microorganismes se mettaient à y pulluler peu de temps après que les liquides eurent refroidi.

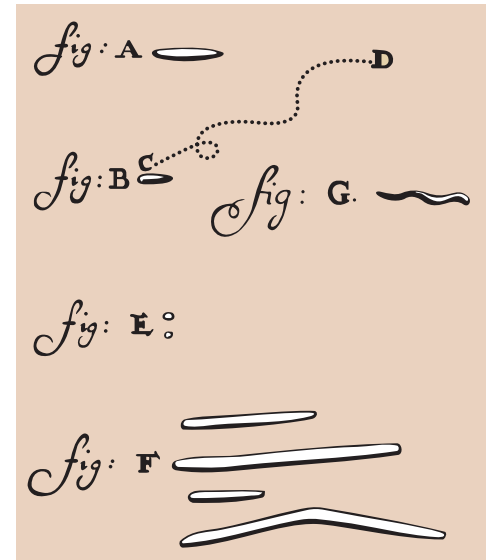
Pour Needham, il ne fait pas de doute que les microbes surgissent spontanément des liquides refroidis. Vingt ans plus tard, le scientifique italien Lazzaro Spallanzani avance l'idée que des microorganismes présents dans l'air étaient probablement entrés dans les solutions de Needham après qu'elles eurent bouilli. Spallanzani montre que les liquides nutritifs chauffés *après* avoir été mis dans des bouteilles fermées ne donnent pas lieu à la croissance de microbes. Needham rétorque que la « force vitale » nécessaire à la génération spontanée a été détruite par la chaleur et que les



a) Leeuwenhoek à son microscope



b) Réplique de microscope



c) Dessins de bactéries. Les lettres représentent diverses formes de bactéries. C – D est le parcours observé d'un microbe.

Figure 1.2 Observations microscopiques d'Antonie van Leeuwenhoek.

bouchons l'empêchent de se réintroduire dans les bouteilles. Cette notion de «force vitale» intangible gagne encore du terrain peu après l'expérience de Spallanzani, grâce à Laurent Lavoisier, qui a montré l'importance de l'oxygène pour la vie. On critique les observations de Spallanzani en faisant valoir qu'il n'y a pas assez d'oxygène dans les bouteilles fermées pour entretenir la vie microbienne.

La théorie de la biogenèse

La question est toujours sans réponse en 1858, alors que le scientifique allemand Rudolf Virchow oppose à la génération spontanée le concept de **biogenèse**, selon lequel *une cellule vivante peut être engendrée seulement par une cellule vivante préexistante*. Le débat sur la génération spontanée se poursuit jusqu'en 1861, date à laquelle le scientifique français Louis Pasteur tranche la question.

Grâce à une série d'expériences ingénieuses et convaincantes, Pasteur montre que les microorganismes sont présents dans l'air et peuvent contaminer les solutions stériles, mais que l'air lui-même ne crée pas les microbes. Il remplit de bouillon de bœuf plusieurs ballons à goulots courts et en fait bouillir le contenu. Certains sont laissés ouverts et mis à refroidir. Quelques jours plus tard, Pasteur constate que ces ballons sont contaminés par des microbes. Les autres ballons, qui ont été bouchés après avoir été mis à bouillir, ne contiennent pas de microorganismes. Ces résultats amènent Pasteur à conclure que les microbes dans l'air sont les agents qui ont contaminé la matière non vivante telle que les bouillons dans les bouteilles de Needham.

Puis, Pasteur introduit du bouillon dans des ballons ouverts à cols longs et replie ces derniers de façon à former des cols-de-cygne – à double courbe – (figure 1.3). Il fait alors bouillir, puis refroidir, le contenu des ballons. Le dispositif remarquable inventé par Pasteur permet à l'air d'entrer dans le ballon, mais la courbure en S du col-de-cygne s'oppose au passage de tout microorganisme aérien qui pourrait entrer et contaminer le bouillon. L'air se trouve ainsi

filtré, le bouillon ne se gâte pas et, même au bout de plusieurs mois, on n'y voit aucun signe de vie. Par contre, si le ballon est incliné de façon que le bouillon puisse venir toucher les parois du col-de-cygne, les microbes de l'air emprisonnés contaminent le liquide et se mettent à pulluler quelque temps après dans le bouillon. (Certains des récipients originaux, qui ont été par la suite fermés hermétiquement, sont exposés à l'Institut Pasteur de Paris. Comme celui de la figure 1.3, ils ne présentent aucun signe de contamination plus de 100 ans plus tard.)

Pasteur a permis d'infirmer la théorie de la génération spontanée en fournissant un certain nombre de preuves que les microorganismes ne sont pas engendrés par des forces mystiques présentes dans la matière non vivante. Il a confirmé la théorie de la biogenèse en démontrant que toute apparition de vie «spontanée» dans une solution non vivante peut être attribuée à une contamination par des microorganismes déjà présents dans l'air ou dans le liquide lui-même. Ainsi, par ses travaux, Pasteur a contribué de façon décisive au progrès de la microbiologie en démontrant que les microorganismes peuvent être présents dans la matière non vivante – sur les solides, dans les liquides et dans l'air. De plus, il a prouvé de façon irréfutable que la vie microbienne peut être détruite par la chaleur et qu'on peut mettre au point des méthodes pour protéger les milieux nutritifs contre les microorganismes aériens. En d'autres termes, il a montré comment stériliser des milieux nutritifs et les garder stériles.



Ces découvertes sont à l'origine de l'**asepsie**, ensemble de méthodes qui permettent de prévenir la contamination par les microorganismes indésirables et qui sont devenues pratique courante dans les laboratoires et dans maintes interventions en soins infirmiers et en médecine. Les techniques d'asepsie modernes sont une des premières choses, et l'une des plus importantes, que les futurs intervenants en santé doivent apprendre.

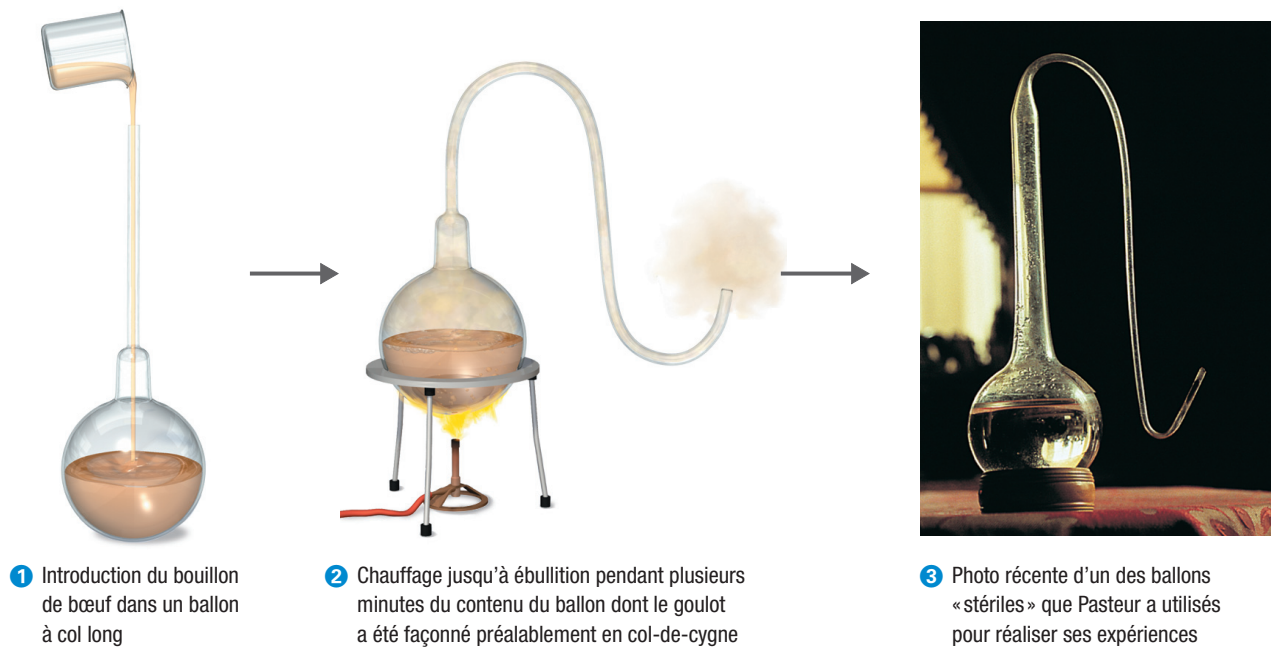


Figure 1.3 Expérience de Pasteur infirmant la théorie de la génération spontanée.

► Vérifiez vos acquis

Sur quelles observations la théorie de la génération spontanée était-elle fondée ? **1-6**

Comment a-t-on réfuté la théorie de la génération spontanée ? **1-7**

L'âge d'or de la microbiologie

Pendant environ 60 ans, on assiste à une explosion de découvertes en microbiologie, à commencer par les travaux de Pasteur. La période qui s'étend de 1857 à 1914 est appelée, à juste titre, *l'âge d'or* de la microbiologie. Les progrès rapides, accomplis surtout par Pasteur et Robert Koch, permettent d'établir la microbiologie en tant que science. Au nombre des découvertes, on compte les agents pathogènes de nombreuses infections et le rôle de l'immunité dans la prévention et la guérison des maladies. Durant cette période effervescente, les microbiologistes étudient l'activité chimique des microorganismes, améliorent les techniques de microscopie et les méthodes de culture des microorganismes et mettent au point des vaccins et des techniques chirurgicales. Certains des grands événements de l'âge d'or de la microbiologie sont énumérés à la **figure 1.4**. Parmi eux, la théorie sur l'origine germinale des maladies infectieuses est d'une importance capitale.

La fermentation et la pasteurisation

Une des étapes clés qui a permis d'établir la relation entre les microorganismes et la maladie est amorcée par un groupe de marchands français qui demandent à Pasteur de trouver ce qui fait aigrir le vin et la bière. Ils espèrent mettre au point une méthode qui empêchera la détérioration de ces boissons quand elles sont transportées sur de longues distances. À l'époque, beaucoup de scientifiques croient que l'air convertit le sucre présent dans ces

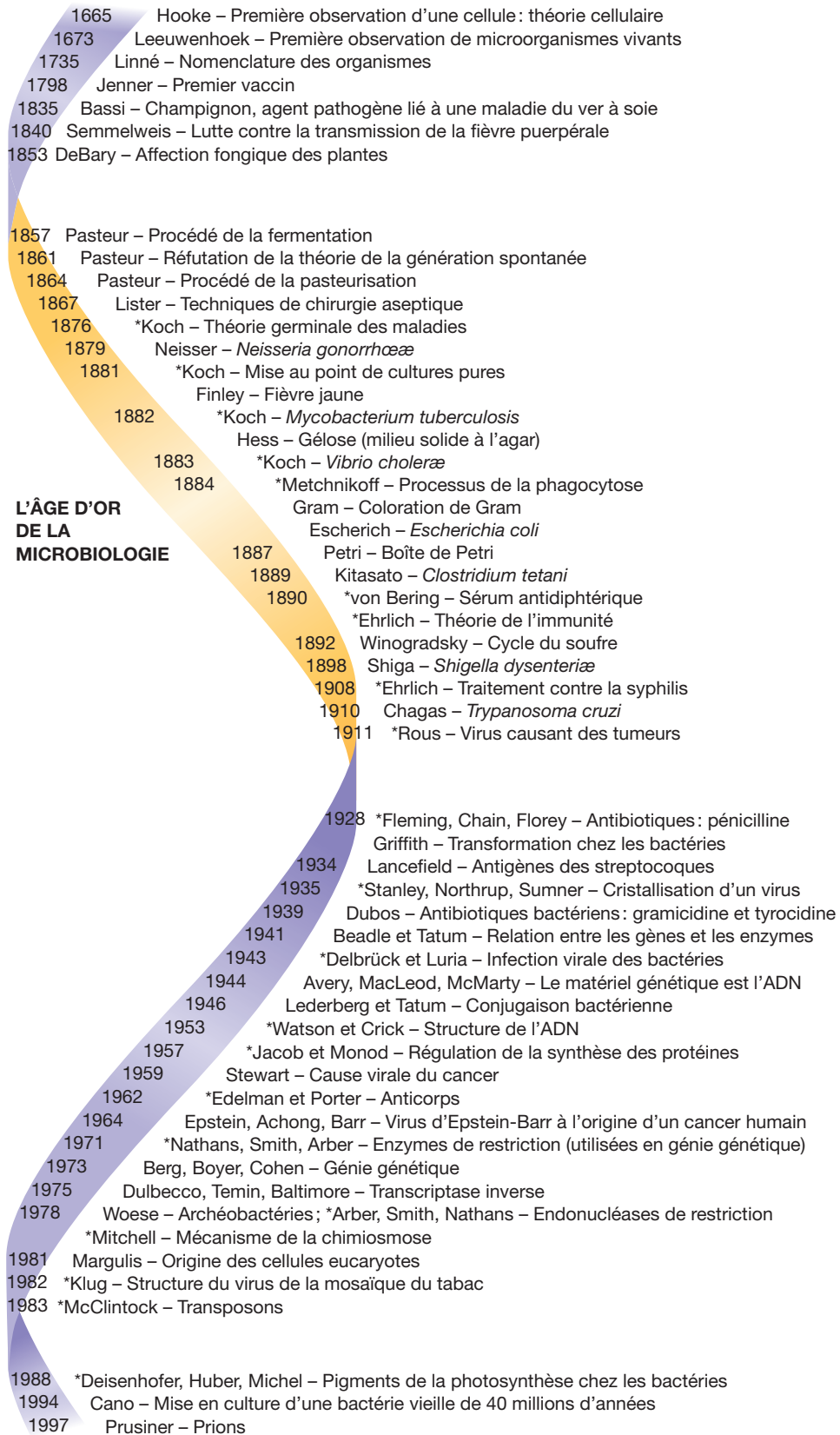
liquides en alcool. Pasteur découvre que ce sont plutôt des microorganismes – appelés *levures* – qui transforment les sucres en alcool en l'absence d'air. Ce processus, appelé **fermentation** (chapitre 23 **EN LIGNE**), sert à la fabrication du vin et de la bière. Toutefois, Pasteur découvre que ces boissons s'aigrissent et se détériorent sous l'action de microorganismes différents appelés *bactéries*. En présence d'air, les bactéries transforment en vinaigre l'alcool contenu dans le vin et la bière.

La solution de Pasteur à ce problème est de chauffer la bière et le vin juste assez pour tuer la plupart des bactéries qui les font aigrir. Ce procédé est appelé **pasteurisation** ; mis au point à l'origine pour traiter des boissons alcoolisées, il est maintenant employé communément pour tuer les bactéries qui font tourner le lait et dont certaines peuvent être nocives pour la santé. La mise au jour du lien entre la détérioration des aliments et les microorganismes représente un grand pas vers l'établissement de la relation entre la maladie – ou l'altération de la santé – et les microbes.

La théorie germinale des maladies

Nous avons vu que, jusqu'à une époque relativement récente, on ne savait pas que beaucoup de maladies étaient liées à des microorganismes. Avant Pasteur, des traitements efficaces contre bon nombre d'affections avaient été découverts au cours des siècles, mais les causes des maladies étaient restées inconnues.

La mise au jour par Pasteur du rôle capital des levures dans la fermentation du vin montre pour la première fois le lien entre l'activité d'un microorganisme et certains changements physiques et chimiques dans la matière organique. Cette découverte amène les scientifiques de l'époque à penser que des microorganismes pourraient entretenir des relations semblables avec les plantes et les animaux, l'humain y compris. Plus précisément, *les maladies pourraient*

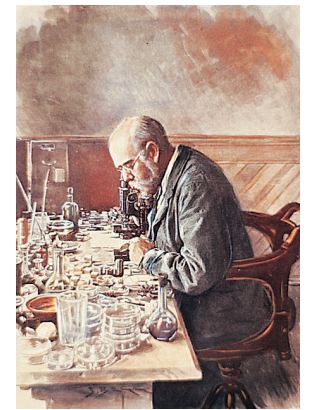


* Lauréat(e) du prix Nobel



Louis Pasteur (1822-1895)

Il a montré par ses expériences que la vie ne surgit pas spontanément de la matière inanimée.



Robert Koch (1843-1910)

Il a mis au point un protocole expérimental permettant d'établir le lien entre une maladie donnée et le microbe qui l'a causée.



Rebecca C. Lancefield (1895-1981)

Elle a classifié les streptocoques selon leurs sérotypes (variantes au sein d'une espèce).

Figure 1.4 Événements marquants de l'évolution de la microbiologie. Les événements qui ont eu lieu durant l'âge d'or de la microbiologie sont indiqués en jaune ; le nom du chercheur est associé à la découverte d'un microbe, à la mise au point d'une technique ou d'un procédé, ou encore à l'explication d'un processus ou d'une théorie.

être le résultat de la croissance de microorganismes, donc, les microorganismes pourraient être la cause de maladies. On donne à cette idée le nom de **théorie germinale des maladies**. Encore faut-il la prouver.

En effet, la théorie germinale est difficile à accepter pour beaucoup de gens parce qu'on croit depuis des siècles que la maladie existe pour punir les individus de leurs crimes ou de leurs mauvaises actions. Quand une maladie se répand dans un village, on jette souvent le blâme sur des démons qui apparaissent sous la forme d'émanations nauséabondes venant des eaux usées ou de vapeurs toxiques sortant des marais. Seul Dieu peut lutter contre les démons, et la médecine n'a que peu de remèdes curatifs et encore moins de moyens pour prévenir la maladie. De plus, il est inconcevable pour la plupart des contemporains de Pasteur que des microbes « invisibles » puissent se propager dans l'air et infecter des plantes et des animaux, ou rester sur les vêtements et la literie pour se transmettre d'une personne à une autre et causer des maladies aux individus atteints. Mais petit à petit, des scientifiques comme Pasteur, Lister et Koch accumulent l'information nécessaire pour étayer la nouvelle théorie germinale.

En 1865, on fait appel à Pasteur pour combattre la maladie du ver à soie, qui est en train de ruiner l'industrie de ce textile partout en Europe. Des années auparavant, en 1835, l'amateur de microscopie Agostino Bassi avait prouvé qu'une autre maladie du ver à soie était causée par un champignon, donc par un microorganisme. Utilisant certaines données fournies par Bassi, Pasteur découvre que l'infection en cours est due à un protozoaire ; il voit encore ici un lien entre un microorganisme et une maladie. Il met au point une méthode pour reconnaître les papillons qui en sont atteints, et la maladie régresse.

Dans les années 1860, le chirurgien anglais Joseph Lister livre des observations médicales qui contribuent à faire avancer la théorie germinale. Lister sait que, dans les années 1840, le médecin hongrois Ignác Semmelweis a montré que les médecins, qui ne se désinfectent pas les mains à l'époque, transmettent systématiquement des infections (fièvre puerpérale) d'une patiente qui accouche à l'autre. Lister a aussi entendu parler des travaux de Pasteur qui établissent un lien entre les microbes et certaines maladies chez les animaux. On n'utilise pas de désinfectants à l'époque, mais Lister sait qu'on traite les champs au phénol (eau phéniquée) dans la région de la ville de Carlisle pour protéger le bétail contre les maladies ; il en déduit que le phénol peut tuer des bactéries. Lister se met alors à traiter les plaies chirurgicales et les fractures ouvertes avec une solution de phénol, et les patients traités guérissent sans complications. La pratique de désinfection réduit à tel point l'incidence d'infections et la mortalité que d'autres chirurgiens l'adoptent presque aussitôt. La technique de Lister est une des premières tentatives médicales pour maîtriser les infections causées par les microorganismes. En fait, ses résultats prouvent que ces derniers causent les infections des plaies opératoires.

La première preuve que les bactéries causent effectivement des maladies vient de Robert Koch en 1876. Koch, un médecin allemand, est un jeune rival de Pasteur dans la course pour découvrir la cause de l'anthrax – ou maladie du charbon –, une maladie qui est en train de détruire les bovins et les moutons en Europe. Koch découvre des bactéries en forme de bâtonnet qu'on appelle aujourd'hui *Bacillus anthracis* dans le sang de bovins morts du charbon. Il

cultive la bactérie dans un milieu nutritif, puis en injecte un échantillon dans des animaux sains. Quand ces derniers deviennent malades et meurent, Koch isole la bactérie de leur sang et la compare à celle qu'il a isolée au point de départ. Il découvre que les deux cultures contiennent la même bactérie. Cette expérimentation, qui permet la mise en culture des microorganismes isolés de malades, confirme irréfutablement la théorie germinale des maladies.

C'est ainsi que Koch établit *une suite d'étapes expérimentales pour relier directement un microbe spécifique à une maladie spécifique*. Ces étapes portent aujourd'hui le nom de **postulats de Koch** (figure 9.3). Au cours des cent dernières années, ces critères ont été d'une valeur inestimable dans les recherches qui ont permis de prouver que des microorganismes spécifiques étaient la cause de nombreuses maladies. Au chapitre 9, nous examinerons en détail les postulats de Koch, leurs limites et leurs applications dans le traitement des maladies.

La vaccination

Il arrive souvent qu'un traitement ou une intervention préventive soient mis au point avant que les scientifiques sachent pourquoi ils sont efficaces. Le vaccin antivariolique en est un exemple. Le 4 mai 1796, presque 70 ans avant que Koch n'établisse que la maladie du charbon est causée par un microorganisme spécifique, le jeune médecin britannique Edward Jenner se lance dans une expérience pour trouver un moyen de protéger les humains contre la variole.

On craint beaucoup les épidémies de variole à cette époque. La maladie balaie périodiquement l'Europe, faisant des milliers de morts. Introduite dans le Nouveau Monde par les colons européens, elle emporte 90% des Amérindiens de la côte Est.

Une jeune trayeuse affirmant qu'elle ne peut pas contracter la variole parce qu'elle a déjà été malade de la vaccine – affection beaucoup moins grave touchant les bovins –, Jenner décide de mettre l'histoire de la jeune fille à l'épreuve. Tout d'abord, il gratte des vésicules de vaccine sur la peau de vaches atteintes de la maladie et en prélève de la matière qu'il inocule à un volontaire sain âgé de huit ans en lui égratignant le bras avec une aiguille contaminée. L'égratignure se transforme en boursoufflure. Au bout de quelques jours, le sujet devient légèrement malade mais se rétablit. Il ne contractera jamais plus la vaccine, ni la variole. On appelle ce procédé *vaccination*, du latin *vacca*, qui signifie « vache ». Pasteur a choisi ce nom en l'honneur des travaux de Jenner. La protection contre la maladie, conférée par la vaccination (ou observée quand on se rétablit de la maladie elle-même), s'appelle **immunité**. Nous reviendrons sur les mécanismes de l'immunité au chapitre 12.

Des années après l'expérience de Jenner, aux environs de 1880, Pasteur découvre pourquoi la vaccination fonctionne. Il constate que la bactérie qui cause le choléra des poules perd la capacité de provoquer la maladie (perd sa *virulence*, ou devient *avirulente*) après avoir été longtemps en culture dans le laboratoire. Toutefois, tout comme d'autres microorganismes dont la virulence est affaiblie, elle peut conférer l'immunité contre les infections subséquentes par le microbe virulent. La découverte de ce phénomène fournit un indice qui permet d'expliquer l'expérience réussie de Jenner sur la vaccine. La variole et la vaccine sont toutes deux causées par des virus. Bien qu'il ne soit pas dérivé du virus de la variole par des manipulations en laboratoire, le virus de la vaccine est assez voisin de ce dernier pour conférer l'immunité aux deux agents pathogènes.

Pasteur donne le nom de *vaccin* aux cultures de microorganismes avirulents utilisées pour faire des inoculations préventives.

Avec l'expérience de Jenner, c'est la première fois en Occident qu'un agent viral vivant – le virus de la vaccine – est utilisé pour produire l'immunité. En Chine, des médecins immunisent déjà des patients en introduisant dans leur nez une poudre fine préparée à partir des squames de pustules en train de s'assécher prélevées sur une personne atteinte d'un cas léger de variole.

Certains vaccins sont encore produits à partir de souches microbiennes avirulentes qui stimulent l'immunité contre la souche virulente apparentée. D'autres sont préparés à partir de microbes virulents tués, de composants isolés des microorganismes virulents ou de produits obtenus par la technologie de l'ADN recombinant.

► Vérifiez vos acquis

Résumez en vos propres mots la théorie germinale des maladies. **1-8**

Quelle est l'importance des postulats de Koch ? **1-9**

Quelle est la portée de la découverte de Jenner ? **1-10**

La naissance de la chimiothérapie moderne et l'espoir de tenir enfin une « tête chercheuse »

Après avoir établi le rapport entre les microorganismes et la maladie, les microbiologistes spécialisés en médecine se mettent à la recherche de substances qui peuvent détruire les microorganismes pathogènes sans porter atteinte aux animaux ou aux humains infectés. Le traitement des maladies au moyen de substances chimiques s'appelle **chimiothérapie**. (On emploie aussi ce mot pour désigner le traitement chimique de maladies non infectieuses, telles que le cancer.) Les agents chimiothérapeutiques préparés à partir de produits chimiques dans les laboratoires s'appellent **médicaments de synthèse**. Les corps chimiques issus naturellement des bactéries ou des mycètes et destinés à lutter contre d'autres microorganismes s'appellent **antibiotiques**. Le succès de la chimiothérapie, qu'il s'agisse de médicaments de synthèse ou d'antibiotiques, repose sur le fait que certaines molécules sont plus toxiques pour les microorganismes que pour les hôtes infectés par les microbes. Nous examinerons plus en détail les traitements antimicrobiens au chapitre 15.

Les premiers médicaments de synthèse

Le médecin allemand Paul Ehrlich est le visionnaire à l'origine de la révolution que va devenir la chimiothérapie. Pendant qu'il est étudiant en médecine, il entretient l'idée d'une « tête chercheuse » qui pourrait débusquer et détruire un agent pathogène sans nuire à l'hôte infecté. Ehrlich se met à la recherche de cette arme. En 1910, après avoir mis à l'essai des centaines de substances, il trouve un agent chimiothérapeutique appelé *salvarsan*, un dérivé de l'arsenic efficace contre la syphilis. Le produit est ainsi nommé parce qu'on le croit « salvateur » dans les cas de syphilis et qu'il contient de l'arsenic. Avant cette découverte, le seul produit chimique connu dans l'arsenal médical européen est la *quinine*, extrait d'écorce provenant d'un arbre d'Amérique du Sud utilisé par les conquistadors pour traiter le paludisme (malaria).

À la fin des années 1930, les chercheurs ont mis au point plusieurs autres médicaments de synthèse capables de détruire les microorganismes. La plupart sont des dérivés de teintures. En effet,

toujours à l'affût de « têtes chercheuses », les microbiologistes vérifient systématiquement les propriétés antimicrobiennes des teintures synthétisées et commercialisées pour les textiles. À peu près à la même époque, les *sulfamides* sont aussi synthétisés.

Un accident heureux – les antibiotiques

Contrairement aux sulfamides, qui sont mis au point intentionnellement à partir d'une série de produits chimiques industriels, le premier antibiotique est découvert par accident. Le médecin et bactériologiste écossais Alexander Fleming s'apprête à jeter au rebut des boîtes de culture qui ont été contaminées par une moisissure. Heureusement, il s'interroge sur la curieuse répartition des bactéries dans les boîtes contaminées. Il y a une région dégagée autour des moisissures, où les bactéries ne poussent pas. Il s'agit d'une moisissure qui peut inhiber la croissance d'une bactérie. Fleming apprend plus tard que cette moisissure est *Penicillium notatum* (renommée plus tard *Penicillium chrysogenum*) et, en 1928, il baptise l'inhibiteur actif *pénicilline*. Ainsi, la pénicilline est un antibiotique produit par un mycète. L'énorme utilité de la pénicilline ne devient évidente que dans les années 1940, quand elle est finalement soumise à des essais cliniques et commercialisée.

Depuis cette époque, on a découvert des milliers d'autres antibiotiques, dont la grande majorité est efficace contre les bactéries. Malheureusement, les antibiotiques et les autres médicaments chimiothérapeutiques ne sont pas sans risques. Beaucoup de corps chimiques antimicrobiens sont trop toxiques pour les humains ; ils tuent les microbes pathogènes, mais ils endommagent aussi l'hôte infecté. Pour des raisons que nous expliquerons plus loin, la toxicité pour les humains pose des problèmes particuliers à ceux qui doivent mettre au point des médicaments contre les maladies virales. La prolifération virale étant très étroitement liée aux processus vitaux des cellules hôtes normales, seuls quelques rares médicaments antiviraux peuvent être qualifiés de réussis.

Il existe un autre problème majeur associé aux médicaments antimicrobiens ; il s'agit de l'émergence et de la propagation de nouvelles variétés de microorganismes qui résistent aux antibiotiques, notamment à cause de l'usage abusif qui est fait de ces derniers. Avec les années, de plus en plus de microbes sont devenus résistants aux antibiotiques qui s'avéraient auparavant très efficaces contre eux. La résistance aux médicaments résulte d'une réaction d'adaptation des microbes leur permettant de tolérer jusqu'à un certain point un antibiotique qui normalement les inhiberait. Les manifestations de cette réaction peuvent être la production par les microbes de molécules (enzymes) qui inactivent les antibiotiques, des changements à la surface du microbe qui rendent les antibiotiques incapables de s'y attacher ou des modifications qui ne laissent pas les antibiotiques pénétrer dans le microorganisme.

L'apparition récente de souches de *Staphylococcus aureus* et d'*Enterococcus faecalis* résistantes à la vancomycine inquiète les professionnels de la santé parce que certaines infections bactériennes qu'on pouvait traiter jusqu'à maintenant pourraient bientôt devenir impossibles à maîtriser.

► Vérifiez vos acquis

Qu'est-ce que la « tête chercheuse » dont rêvait Ehrlich ? **1-11**

La microbiologie aujourd'hui

Les efforts pour contrer la résistance aux médicaments, identifier les virus et mettre au point des vaccins nécessitent des techniques de recherche sophistiquées et des études statistiques dont on n'aurait jamais imaginé l'existence au temps de Koch et de Pasteur.

Les bases qu'on a jetées durant l'âge d'or de la microbiologie ont rendu possibles plusieurs réalisations de grande envergure au cours du XX^e siècle. Outre la bactériologie, la mycologie et la parasitologie, de nouvelles branches de la microbiologie ont vu le jour, dont l'immunologie et la virologie. Tout récemment, la création d'un ensemble de nouvelles méthodes qui forment ce qu'on appelle la technologie de l'ADN recombinant a transformé de fond en comble la recherche et les applications pratiques dans tous les domaines de la microbiologie.

La bactériologie, la mycologie et la parasitologie

La **bactériologie**, ou étude des bactéries, est née avec les premières observations effectuées par Leeuwenhoek de la matière grattée à la surface de ses dents. De nouvelles bactéries pathogènes sont encore découvertes régulièrement. Beaucoup de bactériologistes, comme leur prédécesseur Pasteur, se penchent sur le rôle des bactéries dans les aliments et l'environnement. Heide Schulz a fait une découverte fascinante en 1997, en révélant l'existence d'une bactérie assez grosse pour être visible à l'œil nu (0,2 mm de large). Cette bactérie, qu'elle nomma *Thiomargarita namibiensis*, habite dans la vase du littoral africain. *Thiomargarita* est exceptionnelle en raison de sa taille et de sa niche écologique. Elle consomme le sulfure d'hydrogène, qui est toxique pour les autres animaux vivant dans la vase (figure 6.27).

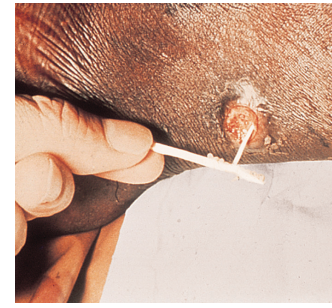
La **mycologie**, ou étude des mycètes (champignons), possède des branches en médecine, en agriculture et en écologie. Rappelons que les travaux de Bassi qui ont abouti à la théorie germinale des maladies portaient sur un mycète pathogène. Le taux d'infections aux mycètes est en hausse depuis la dernière décennie et représente 10% des infections nosocomiales (contractées à l'hôpital). On croit que les changements climatiques et environnementaux (grave sécheresse) sont à l'origine de l'augmentation des infections à *Coccidioides immitis*, qui ont décuplé en Californie. On est actuellement à la recherche de nouvelles techniques pour diagnostiquer et traiter les infections causées par des mycètes.

La **parasitologie** est l'étude des protozoaires et des vers parasites. Comme beaucoup de vers parasites sont assez gros pour être visibles à l'œil nu, les humains les connaissent depuis des milliers d'années. Selon certains, le caducée, qui est le symbole de la médecine, représenterait l'extraction du ver de Guinée (figure 1.5). On découvre de nouvelles infections causées par des parasites chez l'humain au fur et à mesure que les travailleurs qui défrichent les forêts pluviales s'exposent à ces organismes. Des parasitoses insoupçonnées jusqu'à maintenant se manifestent aussi chez les patients dont le système immunitaire ne réagit pas par suite d'une greffe d'organe, d'une chimiothérapie contre le cancer ou du sida.

La bactériologie, la mycologie et la parasitologie connaissent actuellement un « âge d'or de classification ». Des progrès récents en **génomique**, ou étude de l'ensemble des gènes d'un organisme, permettent aux scientifiques de classer les bactéries et les mycètes



a) La forme du caducée, symbole de la profession médicale, a peut-être été inspirée par l'opération qui permet de retirer le ver de Guinée du corps humain.



b) Un médecin extirpe un ver de Guinée (*Dracunculus medinensis*) du tissu sous-cutané d'un patient.

Figure 1.5 La parasitologie : étude des protozoaires et des vers parasites.

en les situant par rapport aux autres bactéries, mycètes ou protozoaires. Auparavant, on classifiait les microorganismes selon un nombre limité de caractères visibles.

L'immunologie

En Occident, l'**immunologie**, ou étude de l'immunité, remonte en fait à la première expérience de vaccination faite par Jenner en 1796. Depuis lors, les connaissances sur le système immunitaire s'accumulent sans arrêt et ont fait un bond rapide au XX^e siècle. Il y a maintenant des vaccins contre un grand nombre de maladies virales, dont la rougeole, la rubéole, les oreillons, la varicelle, la grippe, la polio et l'hépatite B, et contre des maladies bactériennes, dont les pneumonies à streptocoques, le tétanos, la tuberculose et la coqueluche. Le vaccin antivariolique s'est avéré si efficace que la maladie a été éliminée. Les responsables de la santé publique estiment que la polio sera éradiquée d'ici à quelques années grâce à la vaccination. En 1960, on a découvert les interférons, qui sont des substances produites par le système immunitaire lui-même et qui inhibent la réplication des virus. Cette découverte a été à l'origine de nombreuses recherches liées au traitement des maladies virales et du cancer. À l'heure actuelle, une des plus grandes difficultés à surmonter en immunologie consiste à trouver des façons de stimuler le système immunitaire pour qu'il combatte le virus responsable du sida, une maladie qui détruit le système immunitaire.

L'immunologie a fait un grand pas en 1933 grâce à Rebecca Lancefield, qui a proposé que les streptocoques soient classifiés par sérotypes (variantes d'une même espèce) selon la nature de certains composants antigéniques de la paroi cellulaire des bactéries. Les streptocoques sont à l'origine de diverses maladies, telles que les maux de gorge (angine streptococcique), le choc toxique streptococcique et la septicémie, et la connaissance des sérotypes est capitale lors du diagnostic bactériologique.

La virologie

La **virologie**, ou étude des virus, a en fait pris naissance durant l'âge d'or de la microbiologie. En 1892, Dmitri Ivanowski révéla que l'organisme qui cause la mosaïque du tabac, une maladie des

plants de tabac, est si petit qu'il traverse les filtres les plus fins, lesquels retiennent par ailleurs toutes les bactéries connues. En 1935, Wendell Stanley montra que cet organisme, appelé *virus de la mosaïque du tabac* (VMT), était fondamentalement différent des autres microbes et si simple et homogène qu'on pouvait le cristalliser comme un composé chimique. Avec l'avènement du microscope électronique dans les années 1940, les microbiologistes ont été en mesure d'observer la structure des virus en détail, si bien qu'aujourd'hui on en sait beaucoup plus sur leur composition et leur activité.

La technologie de l'ADN recombinant

La technologie de l'ADN recombinant permet maintenant de modifier les microorganismes pour qu'ils produisent de grandes quantités d'hormones humaines et d'autres substances médicinales dont on a un urgent besoin. Vers la fin des années 1960, Paul Berg montra qu'on pouvait attacher à l'ADN de bactéries des fragments d'ADN humain ou animal contenant le code de protéines importantes (gènes). L'hybride obtenu fut le premier exemple d'**ADN recombinant**. Quand on introduit de l'ADN recombinant dans une bactérie (ou dans un autre microbe), cette dernière peut être utilisée pour fabriquer de grandes quantités de la protéine choisie. La technologie qui s'est développée à partir de ce type de manipulation s'appelle **technologie de l'ADN recombinant**, ou parfois **génie génétique**. Elle est issue de deux domaines reliés. Le premier, la **génétique des microbes**, étudie les mécanismes par lesquels les microorganismes transmettent leurs traits d'une génération à l'autre. Le second, la **biologie moléculaire**, a pour objet d'étude la structure de la molécule d'ADN qui porte l'information génétique et la façon dont cette dernière dirige la synthèse des protéines.

Jusque dans les années 1930, toute la recherche en génétique était fondée sur l'étude des cellules végétales et animales. Mais dans les années 1940, les scientifiques se mirent à utiliser des organismes unicellulaires, surtout des bactéries, qui présentent plusieurs avantages sur le plan des manipulations génétiques et biochimiques. Tout d'abord, les bactéries sont moins complexes que les plantes et les animaux. Ensuite, leur cycle vital dure souvent moins d'une heure, si bien qu'on peut cultiver un très grand nombre d'organismes en un temps relativement court.

Une fois amorcée l'étude scientifique des unicellulaires, les progrès en génétique s'accroissent. En 1941, George W. Beadle et Edward L. Tatum montrent la relation qui existe entre les gènes et les protéines enzymatiques. En 1944, Oswald Avery, Colin MacLeod et Maclyn McCarty confirment que l'ADN est le matériel héréditaire. En 1946, Joshua Lederberg et Edward L. Tatum découvrent que les bactéries peuvent échanger du matériel génétique par un processus appelé *conjugaison*. Puis, en 1953, James Watson et Francis Crick proposent leur modèle de la structure et de la réplique de l'ADN. Au début des années 1960, on est témoin d'une nouvelle explosion de découvertes concernant les mécanismes par lesquels l'ADN gouverne la synthèse des protéines. En 1961, François Jacob et Jacques Monod découvrent l'ARN (acide ribonucléique) messenger, une molécule qui joue un rôle dans la synthèse des protéines, et plus tard, ils font les premières découvertes d'importance portant sur la régulation du fonctionnement des

gènes chez les bactéries. À la même époque, les scientifiques parviennent à déchiffrer le code génétique et à comprendre les liens qui existent entre les molécules d'ADN, les molécules d'ARN messenger et les protéines. Les chapitres 24 et 25 **EN LIGNE** traitent des techniques de l'ADN recombinant.

► Vérifiez vos acquis

Définissez la *bactériologie*, la *mycologie*, la *parasitologie*, l'*immunologie* et la *virologie*. **1-12**

Quelle est la différence entre la génétique des microbes et la biologie moléculaire? **1-13**

Les microbes et la santé humaine

► Objectifs d'apprentissage

1-14 Nommer au moins quatre activités utiles des microorganismes.

1-15 Nommer deux applications de la biotechnologie où on utilise la technologie de l'ADN recombinant.

Nous avons déjà mentionné que seule une minorité des microorganismes sont pathogènes. Les microbes qui font pourrir les aliments, qui causent par exemple les meurtrissures sur les fruits et les légumes, la décomposition de la viande et le rancissement des graisses et des huiles, sont aussi très peu nombreux. La grande majorité des microbes est utile aux humains, aux autres animaux et aux plantes, de bien des façons. Dans les sections qui suivent, nous dressons un bref bilan de certaines de ces actions bénéfiques telles que le recyclage d'éléments vitaux, le traitement des eaux, la biorestauration et la lutte biologique contre les insectes nuisibles. Dans les chapitres ultérieurs, nous les examinerons plus en détail.

Le recyclage d'éléments vitaux

Dans les années 1880, les découvertes de deux microbiologistes, Martinus Beijerinck et Sergei Winogradsky, nous permettent aujourd'hui de comprendre les cycles biochimiques qui rendent la vie possible sur Terre. L'**écologie microbienne**, soit l'étude des relations entre les microorganismes et leur environnement, est issue de leurs travaux. Aujourd'hui, cette science comprend plusieurs branches, dont l'étude des interactions des populations microbiennes avec les plantes et les animaux dans divers milieux. Les spécialistes de l'écologie microbienne s'intéressent, entre autres choses, à la pollution microbienne de l'eau et à la contamination de l'environnement par les produits toxiques. L'expression «écologie microbienne humaine» désigne l'écosystème composé des microorganismes qui résident à la surface et à l'intérieur du corps humain.

Le carbone, l'azote, l'oxygène, le soufre et le phosphore sont des éléments chimiques essentiels à la vie et présents en abondance, mais pas nécessairement sous une forme que les organismes peuvent utiliser. Les microorganismes sont les principaux artisans de la conversion de ces éléments en substances dont les plantes et les animaux peuvent se servir. Ainsi, les microorganismes, surtout les bactéries et les mycètes, jouent un rôle clé dans le processus qui retourne le dioxyde de carbone (CO₂) à l'atmosphère lors de la décomposition

de déchets organiques provenant des végétaux et des animaux morts. Les algues, les cyanobactéries et les plantes supérieures utilisent le dioxyde de carbone atmosphérique durant la photosynthèse pour produire des glucides qui sont par la suite consommés par les animaux, les mycètes et les bactéries. Le cycle du carbone est ainsi bouclé. Le diazote (N_2) est abondant dans l'atmosphère mais doit être transformé en ammoniac par les bactéries – seuls microorganismes capables d'effectuer cette modification – pour que les plantes et les animaux puissent l'utiliser.

Le traitement des eaux usées, ou l'utilisation des microbes pour recycler l'eau

Au fur et à mesure que nous nous éveillons au besoin de préserver l'environnement, nous prenons conscience que l'eau est un bien précieux que nous nous devons de recycler et qu'il nous faut, par conséquent, prévenir la pollution des rivières et des océans. Les eaux usées sont un des principaux polluants. Elles sont constituées des excréments humains, des eaux d'égout, des déchets industriels et des eaux de ruissellement. Elles contiennent environ 99,9% d'eau et quelques centièmes de 1% de solides en suspension, parmi lesquels on trouve des microorganismes. Le reste est composé de diverses matières chimiques dissoutes.

Les stations de traitement des eaux usées éliminent les matières indésirables et les microorganismes nuisibles. Les traitements sont une combinaison de divers procédés physiques et chimiques comprenant l'action de microbes utiles. Les gros objets solides comme le papier, le bois, le verre, le gravier et le plastique sont d'abord retirés des eaux usées; il reste alors les matières liquides et organiques que les bactéries convertissent en divers sous-produits tels que le dioxyde de carbone, les nitrates, les phosphates, les sulfates, l'ammoniac, le sulfure d'hydrogène et le méthane. Les microorganismes participent ainsi au traitement des eaux usées. (Nous examinerons le traitement des eaux usées en détail au chapitre 27 [EN LIGNE](#).)

La biorestauration, ou l'utilisation des microbes pour éliminer les polluants

En 1988, des scientifiques se sont mis à utiliser des microorganismes pour neutraliser des polluants et des déchets toxiques dérivés de divers procédés industriels. Par exemple, certaines bactéries peuvent en fait transformer les polluants en sources d'énergie qu'elles peuvent consommer; d'autres produisent des enzymes qui convertissent les toxines en substances moins nocives. Grâce à cette utilisation des bactéries ou des mycètes – procédé appelé **biorestauration** ou **bioremédiation** –, on peut éliminer les toxines qui polluent les puits ou la nappe phréatique et dégrader les toxines amenées par les déversements de produits chimiques, les déchets toxiques enfouis et les marées noires, comme le déversement de pétrole de l'*Exxon Valdez* en 1989 (encadré 22.1 [EN LIGNE](#)). Par contre, la bioremédiation n'est pas encore le procédé de choix pour effectuer de grands nettoyages comme celui exigé après l'explosion, le 20 avril 2010, de la plate-forme pétrolière *Deepwater Horizon* dans le golfe du Mexique, près des côtes de la Louisiane. L'efficacité du métabolisme bactérien ne peut faire face à l'ampleur de la pollution de l'environnement marin causée par cette catastrophe.

À plus petite échelle, des enzymes bactériennes sont utilisées dans les déboucheurs pour dégager les lavabos et les conduits sans rejeter de produits chimiques nocifs dans l'environnement. Dans certains cas, on se sert de microorganismes indigènes (que l'on trouve dans l'environnement); dans d'autres cas, on a recours à des microbes génétiquement modifiés. Parmi les microbes les plus souvent employés pour la biorestauration, on trouve certaines espèces de bactéries des genres *Pseudomonas* et *Bacillus*. Les enzymes de *Bacillus* s'utilisent aussi dans les détergents ménagers pour détacher les vêtements.

Les microorganismes dans la lutte contre les insectes nuisibles

En plus de propager des maladies, les insectes peuvent dévaster les cultures. En conséquence, il est important de lutter contre les insectes nuisibles tant pour l'amélioration de l'agriculture que pour la prévention des maladies chez les humains.

Bacillus thuringiensis est une bactérie largement utilisée aux États-Unis pour combattre les insectes et les parasites qui s'attaquent à la luzerne, aux épis de maïs, aux choux, aux plants de tabac et aux feuilles d'arbres fruitiers. On ajoute la bactérie à une poudre qu'on répand sur les cultures dont se nourrissent ces insectes. La bactérie produit des cristaux protéiques qui sont toxiques pour le système digestif des insectes. On se sert aussi de plants modifiés génétiquement, dont les cellules produisent l'enzyme bactérienne (plantes transgéniques). Grâce à l'utilisation de pesticides microbiens plutôt que chimiques, les agriculteurs évitent de causer du tort à l'environnement. Beaucoup d'insecticides chimiques, tels que le DDT, restent dans le sol sous forme de résidus toxiques et finissent par s'introduire dans la chaîne alimentaire.

La biotechnologie moderne et la technologie de l'ADN recombinant

Nous avons mentionné plus haut qu'on utilise des microorganismes dans l'industrie pour fabriquer certains aliments et produits chimiques courants. Ces applications pratiques de la microbiologie s'appellent **biotechnologie**. Ces dernières années, la biotechnologie a connu une révolution provoquée par l'arrivée de la technologie de l'ADN recombinant, qui applique les techniques de recombinaisons génétiques in vitro pour accroître le potentiel de bactéries, de virus, de levures et d'autres mycètes et les transformer en usines biochimiques miniatures. On utilise aussi des cellules végétales et animales en culture, ainsi que des plantes et des animaux entiers, pour créer des recombinants.

Les applications de cette technologie ont permis jusqu'à maintenant la production de nombreuses protéines naturelles, de vaccins et d'enzymes. Le potentiel de ces substances sur le plan médical est énorme; nous en décrivons quelques-unes au tableau 25.2 [EN LIGNE](#).

Parmi les retombées de la technologie de l'ADN recombinant, l'une des plus importantes et prometteuses est la **thérapie génique**, qui consiste à insérer un gène manquant dans des cellules humaines ou à remplacer un gène défectueux. Cette technique fait appel à un virus inoffensif qui transporte le gène nouveau ou manquant jusque dans certaines cellules hôtes, où il est repris et inséré dans le chromosome approprié. Depuis 1990, la thérapie génique a servi

à traiter des patients souffrant de dystrophie musculaire de Duchenne, une maladie qui détruit les muscles; de fibrose kystique du pancréas, une maladie des parties sécrétrices des voies respiratoires, du pancréas, des glandes salivaires et des glandes sudoripares; et de déficit en récepteurs de LDL (lipoprotéines de basse densité), un trouble qui fait en sorte que les lipoprotéines de basse densité n'entrent pas dans les cellules et restent donc dans le sang. Leur concentration élevée favorise la formation de plaques grasses dans les vaisseaux sanguins, ce qui fait augmenter le risque d'athérosclérose et de maladie coronarienne. L'évaluation des résultats est en cours. Il est aussi possible qu'un jour la thérapie génique permette de traiter certaines maladies héréditaires: par exemple, l'hémophilie, caractérisée par l'absence de coagulation normale du sang; le diabète, qui est marqué par des taux de sucre élevés dans le sang; l'anémie falciforme, due à un type d'hémoglobine anormal; et une forme d'hypercholestérolémie.

En plus de permettre la création d'applications médicales, la technologie de l'ADN recombinant s'est avérée utile en agriculture. Les utilisations potentielles de cette technologie comprennent la résistance à la sécheresse, aux insectes et aux maladies d'origine microbienne, ainsi qu'une plus grande tolérance des cultures à la chaleur.

► Vérifiez vos acquis

Donnez deux exemples d'applications où les bactéries sont utiles aux humains. **1-14**

Quelle est la différence entre la biotechnologie et la technologie de l'ADN recombinant? **1-15**

Les microbes et les maladies humaines

► Objectifs d'apprentissage

1-16 Définir le microbiote normal, décrire sa relation avec le corps humain et définir la résistance.

1-17 Définir les biofilms.

1-18 Définir les maladies infectieuses émergentes, en nommer quelques-unes et énumérer quelques facteurs qui contribuent à leur émergence.

Le microbiote normal

Nous évoluons de la naissance à la mort dans un monde peuplé de microbes et nous portons tous une multitude de microorganismes à la surface et à l'intérieur de notre corps. Ces microorganismes constituent notre **microbiote normal** anciennement appelé « flore microbienne normale » (figure 1.6). Celui-ci est non seulement inoffensif, mais il peut même aussi être bénéfique. Par exemple, il nous protège contre la maladie en empêchant la prolifération de microbes nuisibles; il produit des substances utiles telles que la vitamine K et certaines vitamines B. Toutefois, il arrive qu'il nous rende malades ou qu'il infecte les personnes qui nous côtoient. C'est ce qui se passe quand des microorganismes s'échappent de leur milieu habituel et vont coloniser une autre partie du corps.

À quel moment un microbe est-il accueilli comme partie intégrante d'un humain en bonne santé et à quel moment devient-il

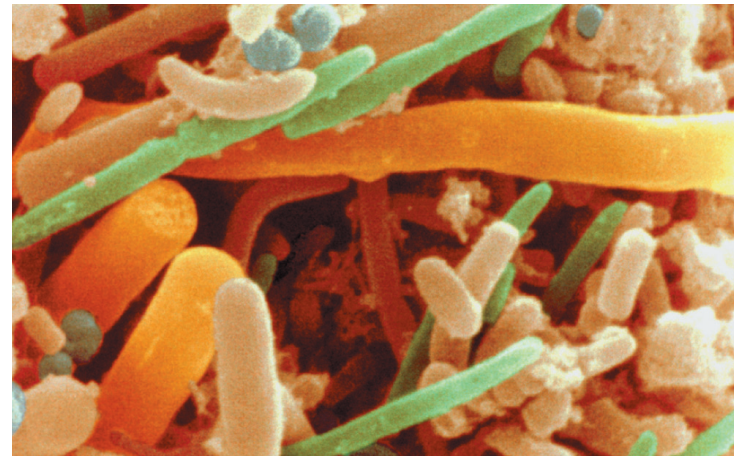


Figure 1.6 Quelques types de bactéries appartenant au microbiote normal de la surface de la langue des humains.

MEB | 2 µm

la cause d'une maladie? La distinction entre la santé et la maladie repose en grande partie sur l'équilibre entre les défenses naturelles du corps et les propriétés des microorganismes qui donnent naissance à la maladie. La capacité de notre corps à s'opposer aux tactiques offensives lancées par les microbes dépend de notre **résistance**, c'est-à-dire de notre aptitude à repousser la maladie. Pour une bonne part, la résistance est assurée par la barrière de la peau, des muqueuses, des cils vibratiles, de l'acide gastrique et des molécules antimicrobiennes telles que les interférons. Les microbes sont détruits par l'inflammation, la fièvre, les leucocytes (globules blancs) et les réponses spécifiques du système immunitaire. Parfois, quand les défenses naturelles du corps humain ne suffisent pas à maîtriser l'invasif microbien, on doit recourir à une aide extérieure en les combattant avec des antibiotiques ou d'autres médicaments.

Les biofilms

Dans la nature, certains microorganismes se présentent sous forme de cellules isolées qui flottent ou nagent dans un milieu liquide quelconque. On en trouve aussi qui vivent agglomérés les uns aux autres ou fixés à une surface, le plus souvent solide. Dans ce dernier cas, on parle de **biofilm**, c'est-à-dire d'un regroupement complexe de microbes. La pellicule visqueuse qui recouvre les roches au fond des lacs est un biofilm. Celle que l'on détecte en passant la langue sur ses dents en est un autre. Certains biofilms sont très utiles. Ils protègent nos muqueuses contre les microbes nuisibles. Dans les plans d'eau, ils sont une source de nourriture importante pour les animaux aquatiques. À l'opposé, certains d'entre eux sont nuisibles. Par exemple, ils peuvent obstruer les canalisations d'eau. Lorsqu'ils se forment dans les cathéters utilisés en médecine (figure 1.7) ou sur ses implants tels que les prothèses articulaires, ils peuvent déclencher des infections comme l'endocardite (inflammation du cœur). Les bactéries qui forment des biofilms ont souvent une grande résistance aux antibiotiques, parce que la pellicule dans laquelle elles se trouvent leur sert de barrière protectrice (encadré 2.1). Nous reviendrons sur les biofilms au chapitre 4.

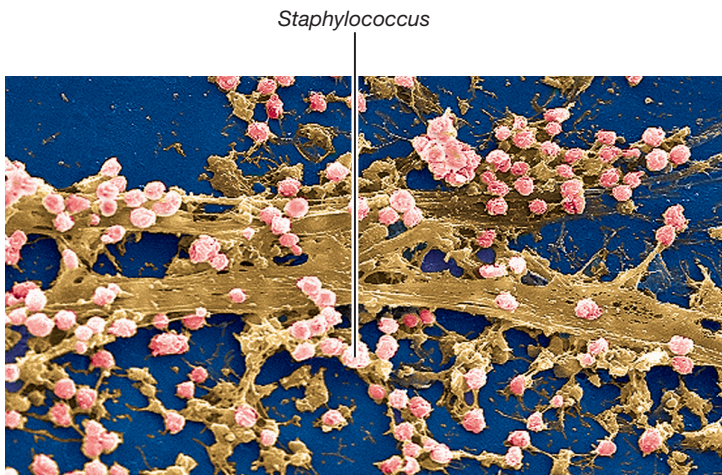


Figure 1.7 Biofilm sur un cathéter. En adhérant aux surfaces solides, les bactéries du genre *Staphylococcus* forment une pellicule visqueuse. Il arrive que certaines bactéries s'échappent du biofilm et provoquent une infection.

MEB 2 µm

Les maladies infectieuses

Une **maladie infectieuse**, ou **infection**, est causée par un agent pathogène tel qu'une bactérie, un virus, un mycète, un protozoaire ou un helminthe. Elle se déclare quand l'agent pathogène envahit l'hôte, par exemple un humain, dont la résistance est souvent affaiblie. L'agent pathogène s'installe dans les tissus et les organes, et s'y développe; l'infection entraîne des perturbations ou des déséquilibres physiologiques chez l'hôte et, en conséquence, les symptômes de la maladie peuvent se manifester.

À la fin de la Seconde Guerre mondiale, beaucoup ont cru que les maladies infectieuses étaient maîtrisées. On pensait que le paludisme (malaria) serait supprimé grâce au DDT, un insecticide qui tue les moustiques vecteurs, qu'un vaccin préviendrait la diphtérie et qu'une meilleure hygiène contribuerait à freiner la transmission du choléra. Dans les faits, le paludisme est loin d'être éliminé: 300 millions de personnes sont infectées dans le monde entier. Depuis 1986, on en a connu des flambées localisées au Texas, en Californie, en Floride, au New Jersey et dans l'État de New York. Le climat plus frais empêche le moustique de monter plus au nord, mais le réchauffement de la planète pourrait bien favoriser dans l'avenir l'expansion du paludisme vers le Canada. En 1994, la diphtérie a refait surface aux États-Unis, apportée par des voyageurs en provenance des États récemment émancipés de l'ancienne Union soviétique; l'épidémie massive de diphtérie qui y sévissait n'a été circonscrite qu'en 1998. Des épidémies de choléra surviennent encore dans certaines régions en développement. En 2010, Haïti en a connu une après le terrible tremblement de terre qui a secoué le pays.

Les maladies infectieuses émergentes

Les exemples précédents illustrent le fait que les maladies infectieuses ne sont pas en train de disparaître, mais que, au contraire, elles semblent plutôt être en recrudescence. De plus, un certain nombre d'affections inusitées – les **maladies infectieuses**

émérgentes – ont surgi au cours des dernières années. Il s'agit de maladies nouvelles ou en train de changer, dont l'incidence augmente ou pourrait augmenter dans un avenir proche. Les facteurs qui contribuent à l'émergence de ces maladies sont multiples: on parle d'adaptations évolutives touchant des organismes existants (*Vibrio cholerae* O139); de la propagation de maladies connues dans de nouvelles populations ou régions du globe par le truchement des moyens de transport modernes (encéphalite à virus du Nil); de l'exposition accrue des humains à de nouveaux agents infectieux jusque-là inconnus dans des régions soumises à des changements écologiques tels que la déforestation et la construction (virus de la fièvre hémorragique du Venezuela). Certaines maladies infectieuses peuvent connaître une recrudescence parce que les agents pathogènes qui les causent deviennent résistants aux antibiotiques: on parle alors de multirésistance (encadré 16.1).

Le nombre accru d'incidents des dernières années met en lumière l'étendue du problème de la résistance aux antibiotiques. Les antibiotiques constituent une arme indispensable dans la lutte contre les infections bactériennes. Toutefois, au fil des ans, le recours abusif à ces médicaments et leur mauvaise utilisation ont favorisé l'apparition de bactéries qui vivent sans difficulté dans les milieux où ils sont présents. Comment une bactérie devient-elle résistante? C'est à la faveur d'une mutation survenue par hasard dans ses gènes qu'elle acquiert le pouvoir de résister à un antibiotique. Lorsqu'elle est exposée à ce dernier, elle se trouve avantagée par rapport aux bactéries susceptibles et peut proliférer là où les autres en sont empêchées. C'est ainsi que les souches antibiorésistantes sont devenues un fléau mondial. L'érosion des mesures de santé publique qui permettaient par le passé d'éviter les infections a favorisé l'éclosion de cas inattendus de tuberculose, de coqueluche et de diphtérie (chapitre 19). Des cas de tuberculose résistante aux antibiotiques observés chez des personnes atteintes du sida donnent à penser que le fléau pourrait être de retour.

Chez l'humain, *Staphylococcus aureus* est à l'origine de diverses affections, telles que les boutons, les furoncles, la pneumonie, l'intoxication alimentaire et les infections des plaies chirurgicales. Il est aussi une cause importante d'infections nosocomiales. La pénicilline réussissait autrefois à juguler les infections mais, dans les années 1950, l'apparition d'une souche résistante suscita de grandes inquiétudes dans les hôpitaux, où il s'avéra nécessaire de recourir à la méthicilline. Dans les années 1980, le **staphylocoque doré résistant à la méthicilline (SDRM)** entra en scène et devint endémique dans un grand nombre d'hôpitaux. On fut alors contraint d'utiliser fréquemment la vancomycine. À la fin des années 1990, on se mit à observer que certaines infections à *S. aureus* étaient plus difficiles à maîtriser par la vancomycine. On assigna à la nouvelle souche le sigle **VISA** (de *Vancomycin-intermediate S. aureus*). Enfin, en 2002, aux États-Unis, on découvrit qu'un patient était infecté par un **staphylocoque doré résistant à la vancomycine (SDRV)**.

Q/R

Les agents antibactériens qu'on ajoute à certains nettoyants ménagers ressemblent aux antibiotiques à bien des égards. Si on s'en sert correctement, ils empêchent la croissance des bactéries.

Toutefois, si on les utilise sur toutes les surfaces sans distinction, on crée un environnement qui favorise la survie des microbes résistants. Si, un jour, une situation survient où il faut s'assurer que les mains et les objets sont bien désinfectés – par exemple si on doit protéger des infections un membre de la famille qui revient d'un séjour à l'hôpital –, il est possible qu'on rencontre l'opposition d'une armée de bactéries pour la plupart résistantes.

Il est bon de nettoyer la maison et de se laver les mains régulièrement, mais on peut utiliser pour ce faire des savons et des détergents ordinaires (sans agents antibactériens). Par ailleurs, les désinfectants qui s'évaporent rapidement, tels que l'eau de Javel, l'alcool, l'ammoniaque et le peroxyde d'hydrogène, éliminent les bactéries qui peuvent devenir pathogènes sans laisser de résidu propice à la sélection de souches résistantes. **Q/R**

Certains virus sont aussi responsables de maladies infectieuses émergentes. Ce sont, par exemple, le **virus du Nil occidental**, le **virus de la fièvre hémorragique d'Ebola**, les *Hantavirus*, le **virus de l'immunodéficience humaine** et les virus grippaux comme les **virus de la grippe aviaire A(H5N1)**. En mars 2009, une nouvelle forme d'influenza, nommée *grippe porcine* puis **grippe A(H1N1)**, s'est d'abord propagée au Mexique, puis aux États-Unis et, à la fin avril, au Canada. Cette grippe, dérivée du porc et des oiseaux, se transmettait désormais d'humain à humain. À la mi-juillet 2009, on répertoriait 10 156 cas au Canada. Le 11 juin 2009, l'OMS haussait l'alerte au niveau 6; la grippe A(H1N1) était classée « pandémie ». La production rapide d'un vaccin et la mise en place d'un programme intensif de vaccination ont très certainement contribué à stopper la pandémie. Cette dernière grippe pandémique, quoique de faible gravité, nous rappelle que nous devons demeurer vigilants, car ces virus évoluent et pourraient devenir très virulents pour l'humain. C'est pourquoi on a mis en place des mesures de surveillance des cas d'infections et de transmission entre individus (encadré 8.1).

Signalons enfin, parmi les maladies infectieuses émergentes, l'**encéphalopathie spongiforme bovine** ou **maladie de la vache folle**, qu'on attribue à ces mystérieux prions contre lesquels la médecine semble pour le moment démunie.

Les techniques de la microbiologie ont permis aux chercheurs de vaincre la variole et d'endiguer la syphilis. De la même façon, elles aideront les scientifiques du XXI^e siècle à découvrir les causes des maladies infectieuses émergentes. Néanmoins, il y aura sans doute de nouvelles maladies. Les *Influenzavirus* sont des exemples de virus qui semblent en voie d'accroître leur pouvoir d'infecter différentes espèces hôtes. Nous reviendrons sur les maladies infectieuses émergentes au chapitre 9.

► Vérifiez vos acquis

Quelle est la différence entre le microbiote normal et une maladie infectieuse? **1-16**

Pourquoi les biofilms sont-ils importants? **1-17**

Quels sont les facteurs qui favorisent l'émergence des maladies infectieuses? **1-18**

★ ★ ★

Les maladies que nous avons mentionnées sont causées par des virus, des bactéries, des protozoaires et des prions – qui sont des types de microorganismes, au sens large du terme. Le présent ouvrage est une introduction à l'énorme diversité des organismes microscopiques. Il montre comment les microbiologistes utilisent des techniques et des méthodes spécifiques pour étudier les microbes qui causent des maladies telles que le sida et la diarrhée – ainsi que des affections qui sont encore à découvrir. Nous traitons également des réactions du corps aux infections microbiennes et nous examinons comment certains médicaments les combattent. Enfin, nous nous penchons sur les nombreux rôles utiles joués par les microbes autour de nous.

RÉSUMÉ

LES MICROBES DANS NOS VIES (p. 3)

1. Les êtres vivants trop petits pour être visibles à l'œil nu s'appellent microorganismes.
2. Les microorganismes jouent un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre écologique de la Terre.
3. Certains microorganismes vivent dans le corps des humains ou d'autres animaux, où leur présence est nécessaire au maintien de la santé.
4. Certains microorganismes servent dans des applications industrielles telles que la fabrication d'aliments et de produits chimiques.

5. Certains microorganismes causent des maladies; ce sont des microbes pathogènes.

L'APPELLATION ET LA CLASSIFICATION DES MICROORGANISMES (p. 3)

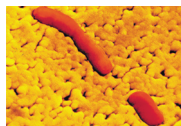
La nomenclature (p. 3)

1. Dans le système de nomenclature créé par Carl von Linné (1735), l'appellation scientifique de chaque organisme vivant est formée de deux mots latins.
2. Les deux mots sont un nom de genre et une épithète spécifique, qui sont tous deux soulignés ou écrits en italique. Le nom du genre porte une majuscule. Exemple : *Staphylococcus aureus*.

Les types de microorganismes (p. 5)

Les bactéries (p. 5)

- Les bactéries sont des microorganismes unicellulaires. Comme elles n'ont pas de noyau délimité par une membrane, les cellules sont dites procaryotes.
- Les trois principales formes de bactéries sont les bacilles, les cocci et les formes spiralées.
- La plupart des bactéries ont une paroi cellulaire de peptidoglycane; elles se reproduisent de façon asexuée par scissiparité.
- Certaines bactéries possèdent des flagelles qui les rendent mobiles.
- Des substances chimiques de toutes sortes peuvent servir de nourriture pour les bactéries. Les bactéries qui se développent sur et dans le corps humain utilisent des substances chimiques organiques.



Les archéobactéries (p. 5)

- Les archéobactéries sont des microorganismes unicellulaires; ce sont des procaryotes dont la paroi cellulaire est dépourvue de peptidoglycane.
- Les archéobactéries, dont une caractéristique est de supporter des conditions de vie difficiles, comprennent les bactéries méthanogènes, les bactéries halophiles extrêmes et les bactéries thermophiles extrêmes.

Les mycètes (p. 6)

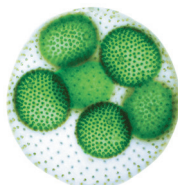
- Les mycètes, ou champignons, sont formés de cellules eucaryotes (ayant un vrai noyau).
- Parmi les mycètes d'intérêt médical, on trouve des formes unicellulaires, ou *levures*, et des formes pluricellulaires filamenteuses, ou *moisissures*.
- Les cellules sont entourées d'une paroi cellulaire contenant de la chitine.
- Les mycètes se nourrissent en absorbant la matière organique qui se trouve dans leur environnement.

Les protozoaires (p. 7)

- Les protozoaires sont des eucaryotes unicellulaires.
- Les moyens par lesquels les protozoaires se nourrissent sont l'absorption ou l'ingestion par des structures spécialisées.
- Certains sont des parasites qui vivent aux dépens de leur hôte; c'est ainsi qu'ils peuvent causer des dommages à l'humain.
- Très souvent mobiles, ils se déplacent au moyen de pseudopodes (les amibes, par exemple), de flagelles ou de cils.

Les algues (p. 7)

- Les algues sont des eucaryotes unicellulaires ou pluricellulaires qui obtiennent leur nourriture par photosynthèse.
- Les algues produisent de l'oxygène et des glucides qui sont utilisés par d'autres organismes.



Les virus et les prions (p. 7)

- Les virus sont des entités parasites obligatoires des cellules vivantes.
- Les virus sont acellulaires; ils sont composés d'une nucléocapside formée d'un seul acide nucléique (ADN ou ARN), lui-même entouré d'une capsid protéique. Dans certains cas, la capsid est recouverte d'une enveloppe membranaire.
- Les virus se multiplient par réplication.

Les parasites animaux pluricellulaires (p. 7)

- Les principaux groupes de parasites animaux pluricellulaires sont les vers plats et les vers ronds, appelés collectivement *helminthes*. Ils ont pour caractéristique d'être des parasites, donc de vivre aux dépens de leur hôte.
- Les stades microscopiques du cycle vital des helminthes sont révélés par les techniques classiques de la microbiologie.

La classification des microorganismes (p. 7)

- Tous les organismes sont regroupés en Procaryotes, qui comprennent les Bactéries et les Archéobactéries, ou en Eucaryotes, qui comprennent les Protistes (protistes fongiformes, protozoaires, algues), les Mycètes, ou champignons, les Plantes et les Animaux.

UN BREF HISTORIQUE DE LA MICROBIOLOGIE (p. 8)

Les premières observations (p. 8)

- Robert Hooke observe que la matière végétale est composée de « petites boîtes »; il leur donne le nom de *cellules* (1665).
- Les observations de Hooke sont à l'origine de la théorie cellulaire, selon laquelle tous les êtres vivants sont constitués de cellules.
- Se servant d'un microscope simple, Antonie van Leeuwenhoek est le premier à observer des microorganismes (1673).

Le débat sur la génération spontanée (p. 8)

- Jusqu'au milieu des années 1880, beaucoup croyaient à la génération spontanée, selon laquelle des organismes vivants pouvaient être engendrés de façon spontanée à partir de la matière non vivante.
- Un débat historique s'étirant sur plusieurs années a mis en conflit les opposants et les défenseurs de la théorie de la génération spontanée.
- John Needham soutient que des microorganismes peuvent se former spontanément dans un bouillon nutritif préalablement chauffé puis mis dans des bouteilles fermées (1745).
- Lazzaro Spallanzani répète les expériences de Needham et pense que les résultats de ce dernier sont dus à des microorganismes dans l'air qui sont tombés dans ses bouillons (1765).
- Rudolf Virchow propose le concept de biogenèse: une cellule vivante peut être engendrée seulement par une cellule préexistante (1858).
- Louis Pasteur démontre que les microorganismes sont partout dans l'air et présente des preuves à l'appui de la biogenèse (1861).

10. Les découvertes de Pasteur sont à l'origine des techniques d'asepsie employées dans les laboratoires et les interventions médicales pour prévenir la contamination par les micro-organismes aériens.

L'âge d'or de la microbiologie (p. 10)

11. La microbiologie a fait des progrès rapides sur le plan scientifique entre 1857 et 1914.

La fermentation et la pasteurisation (p. 10)

12. Pasteur découvre, lors de travaux sur le vin et la bière, que les levures font fermenter le sucre pour produire de l'alcool et que les bactéries peuvent oxyder l'alcool en acide acétique.
13. Un procédé qui fait appel à la chaleur, nommé *pasteurisation*, est utilisé pour tuer les bactéries dans certaines boissons alcoolisées et le lait.

La théorie germinale des maladies (p. 10)

14. Agostino Bassi (1835) et Pasteur (1865) montrent qu'il y a une relation de cause à effet entre les microorganismes et la maladie.
15. Joseph Lister (1860) est le premier à utiliser un désinfectant pour nettoyer les plaies chirurgicales (asepsie chirurgicale) afin de réduire les infections chez les humains, infections qu'il attribue à des microorganismes.
16. Robert Koch (1876) prouve que les microorganismes causent des maladies. Sa démonstration, qui s'appuie sur une suite ordonnée d'expériences, forme ce qu'on appelle les postulats de Koch. Ces postulats servent aujourd'hui à prouver qu'un microorganisme particulier cause une maladie donnée.

La vaccination (p. 12)

17. Lors de la vaccination, l'immunité (résistance à une maladie particulière) est conférée par l'inoculation d'un vaccin.
18. En 1798, Edward Jenner démontre que l'inoculation d'une préparation tirée de vaches atteintes de la vaccine immunise les humains contre la variole.
19. Aux environs de 1880, Pasteur découvre qu'une bactérie avirulente peut servir de vaccin contre le choléra des poules ; il invente le terme « vaccin ».
20. Les vaccins modernes sont préparés à partir de microorganismes avirulents vivants ou d'agents pathogènes tués, de composants isolés d'agents pathogènes ou de produits obtenus par génie génétique.

La naissance de la chimiothérapie moderne et l'espoir de tenir enfin une « tête chercheuse » (p. 13)

21. La chimiothérapie est le traitement chimique des maladies.
22. Les médicaments de synthèse (préparés en laboratoire par des moyens chimiques) et les antibiotiques (substances produites naturellement par des bactéries et des mycètes pour inhiber la croissance d'autres microorganismes) sont deux types d'agents chimiothérapeutiques.
23. Paul Ehrlich est le premier à utiliser un produit chimique contenant de l'arsenic appelé *salvarsan* pour traiter la syphilis (1910).

24. Alexander Fleming observe que *Penicillium*, une moisissure (mycète), inhibe la croissance d'une culture bactérienne. Il nomme l'inhibiteur actif pénicilline (1928).
25. L'utilisation clinique de la pénicilline en tant qu'antibiotique remonte aux années 1940.
26. Les chercheurs s'attaquent au problème des microbes résistant aux médicaments.

La microbiologie aujourd'hui (p. 14)

27. La bactériologie est l'étude des bactéries, la mycologie, celle des mycètes et la parasitologie, celle des protozoaires et des vers parasites.
28. Les microbiologistes utilisent la génomique, soit l'étude de l'ensemble des gènes d'un organisme, pour classifier les bactéries, les mycètes et les protozoaires.
29. L'étude du sida, l'analyse de l'action des interférons et la création de nouveaux vaccins sont parmi les sujets de recherche auxquels on s'intéresse présentement en immunologie.
30. De nouvelles techniques en biologie moléculaire et en microscopie électronique procurent des outils pour faire progresser les connaissances en virologie.
31. L'essor du génie génétique a favorisé le progrès dans toutes les sphères de la microbiologie.

LES MICROBES ET LA SANTÉ HUMAINE (p. 15)

1. Les microorganismes décomposent les plantes et les animaux morts et recyclent les éléments chimiques qui peuvent alors être utilisés par les plantes et les animaux vivants.
2. On utilise des bactéries pour décomposer la matière organique dans les eaux usées.
3. Les procédés de biorestauration font appel aux bactéries pour éliminer les déchets toxiques.
4. On emploie des bactéries qui causent des maladies chez les insectes pour lutter par des moyens biologiques contre les espèces nuisibles. Ces armes biologiques combattent l'insecte nuisible et ne nuisent pas à l'environnement.
5. L'utilisation des microbes pour fabriquer, par exemple, de la nourriture et des produits chimiques s'appelle biotechnologie.
6. Grâce à l'ADN recombinant, les bactéries peuvent produire des substances importantes telles que des protéines, des vaccins et des enzymes.
7. En thérapie génique, on utilise des virus pour introduire dans les cellules humaines des gènes de remplacement pour ceux qui sont défectueux ou absents.
8. En agriculture, on utilise des bactéries modifiées par génie génétique pour protéger les plantes contre le gel et les insectes, et améliorer la durée de conservation des fruits et des légumes.

LES MICROBES ET LES MALADIES HUMAINES (p. 17)

1. Nous portons tous des microorganismes à la surface et à l'intérieur de notre corps ; ils constituent notre microbiote normal, ou flore microbienne normale.

2. Parmi les facteurs importants qui contribuent à déterminer si une personne contractera une maladie infectieuse, on compte les propriétés pathogènes de l'espèce de microbe en cause ainsi que la résistance de l'hôte.
3. Les regroupements de bactéries qui forment des pellicules visqueuses à la surface des objets sont appelés *biofilms*.
4. Une maladie infectieuse peut se déclarer quand un agent pathogène envahit un hôte dont la résistance est affaiblie.
5. Une maladie infectieuse émergente est une affection entièrement nouvelle ou une maladie connue qui est en train de changer. Ses caractéristiques sont une augmentation récente de son incidence ou la probabilité qu'elle se propage dans un avenir rapproché.

AUTOÉVALUATION

QUESTIONS À COURT DÉVELOPPEMENT

1. Comment s'est formée l'idée de la génération spontanée dans l'esprit des humains ?
2. Au Moyen Âge, durant les mois très froids, on entassait dans de grands lits les enfants atteints de différentes maladies – toux, vomissements, teigne, éruptions diverses, etc. – afin de les maintenir au chaud. Pourquoi la prévention des maladies n'était-elle pas une nécessité concevable à cette époque ?
3. Dans le débat sur la génération spontanée, certains tenants de cette théorie croyaient que l'air est nécessaire à la vie. Ils estimaient que Spallanzani ne réfutait pas vraiment la génération spontanée parce que ses ballons, contenant du bouillon chauffé, étaient fermés hermétiquement, ce qui empêchait l'air d'y entrer. Comment les expériences de Pasteur ont-elles permis de répondre au problème de l'air sans que les microbes qui y vivent gâchent son expérience ?
4. Comment la théorie de la biogenèse a-t-elle ouvert la voie à la théorie germinale des maladies ?
5. La théorie germinale des maladies n'a été formellement prouvée qu'en 1876. Pourquoi alors Semmelweis (1840) et Lister (1867) plaidaient-ils pour l'utilisation des techniques d'asepsie en milieu hospitalier ?
6. Nommez quelques rôles utiles que les microorganismes peuvent jouer dans l'intérêt de la santé humaine.
7. Trouvez au moins trois produits de supermarché fabriqués à l'aide de microorganismes. (*Indice* : Vous pourrez lire sur l'étiquette le nom scientifique de l'organisme ou les mots « culture », « fermenté » ou « brassé ».)
8. On a cru que toutes les maladies microbiennes seraient maîtrisées au xx^e siècle. Nommez au moins trois raisons pour lesquelles on découvre de nouvelles maladies infectieuses maintenant.

APPLICATIONS CLINIQUES

N. B. Certaines de ces questions nécessitent que vous cherchiez des réponses dans les différents chapitres du livre.

1. En 1864, Lister observe que les patients qui ont une fracture fermée se rétablissent complètement, mais que les fractures ouvertes ont des « conséquences désastreuses ». Il sait qu'on traite les champs au phénol (eau phéniquée) dans la région de la ville de Carlisle pour protéger le bétail contre les maladies. Lister se met à traiter les fractures ouvertes avec du phénol et observe que les patients guérissent sans complications. Comment les travaux de Pasteur ont-ils influencé Lister ? Du point de vue de la méthode scientifique, pourquoi les travaux de Koch étaient-ils encore nécessaires ? (*Indice* : Voir le chapitre 14.)
2. La prévalence de l'arthrite aux États-Unis est de 1 pour 100 000 enfants. Cependant, à Lyme, au Connecticut, l'arthrite touche 1 enfant sur 10 entre juin et septembre 1973. Allen Steere, rhumatologue à l'université Yale, examine les cas de Lyme et découvre que 25 % des patients se souviennent d'avoir fait de l'urticaire pendant l'épisode d'arthrite et que la maladie obéit à la pénicilline. Steere conclut qu'il s'agit d'une nouvelle maladie infectieuse dont la cause n'est pas environnementale, génétique ni immunologique. Quel est l'élément du dossier qui a incité Steere à tirer cette conclusion ? Quelle hypothèse pouvait-il faire quant à la cause probable de la maladie ? Feuilletez le chapitre 18, qui porte sur les maladies infectieuses des systèmes cardiovasculaire et lymphatique, et donnez un argument qui explique la prévalence plus élevée de la maladie de Lyme entre juin et septembre.

ÉDITION
EN LIGNE

Consultez le volet de gauche de l'Édition en ligne pour d'autres activités.