

Lydie Suty

La lutte biologique



*Vers de nouveaux
équilibres écologiques*

Sciences en partage

éditions
Quæ

educagri
éditions

La lutte biologique

Vers de nouveaux équilibres
écologiques

La lutte biologique

Vers de nouveaux équilibres
écologiques

LYDIE SUTY

Dans la même collection

- *Bien-être animal et travail en élevage, textes à l'appui*, J. PORCHER, 2004.
- *Conseiller en agriculture*, J. RÉMY, H. BRIVES, B. LÉMERY (coord.), 2006.
- *Conserver les zones humides : pourquoi, comment ?* G. BARNAUD, E. FUSTEC, 2007.
- *La troublante histoire de la jachère, pratique des cultivateurs, concepts des lettres et enjeux sociaux*, P. MORLON, F. SIGAUT, 2008.
- *Conseil et développement en agriculture, quelles nouvelles pratiques ?* C. COMPAGNONE, C. AURICOSTE, B. LÉMERY, 2009.
- *Transitions vers l'agriculture biologique*, C. LAMINE, S. BELLON, 2009.

Édition : Isabelle Sick

Maquette, couverture : Brigitte Mignotte

Montage PAO : Brigitte Mignotte et Françoise Prevost

Illustrations : Lydie Sutie

Coordination de l'infographie : Dominique Azan

Infographie : Dominique Azan et Éric Souverbie

Photos de couverture :

– Photo de jachère fleurie : Jean-Jacques Cordier - fotolia.com

– Photo de papillon : Annick Suty

– Photo de *Asterias amurensis* : Lycoo

Aux termes du Code de la propriété intellectuelle, toute reproduction ou représentation, intégrale ou partielle, de la présente publication, faite par quelque procédé que ce soit (reprographie, microfilmage, scannérisation, numérisation...) sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

L'autorisation d'effectuer des reproductions par reprographie doit être obtenue auprès du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) – 20 rue des Grands-Augustins 75006 Paris – Tél : 01 44 07 47 70 / Fax : 01 46 34 67 19.



© Educagri éditions/Éditions Quæ, 2010
ISBN (Éditions Quæ) : 978-2-7592-0613-1
ISBN (Educagri éditions) : 978-2-84444-772-2
ISSN : 1768-2274

Educagri éditions

BP 87999 - 21079 DIJON CEDEX

Tél. 03 80 77 26 32 - Fax 03 80 77 26 34

www.editions.educagri.fr editions@educagri.fr

Éditions Quæ

c/o Inra - RD 10 78026 VERSAILLES CEDEX

Tél. 01 30 83 35 48 - Fax 01 30 83 34 49

www.quae.com

Sommaire

INTRODUCTION	7
Chapitre 1. Rappels de biologie	13
Chapitre 2. La lutte biologique : définitions et concepts généraux	43
Chapitre 3. Auxiliaires et cibles : première approche	65
Chapitre 4. La lutte microbiologique	91
Chapitre 5. Parasites et parasitoïdes	113
Chapitre 6. Utilisation de prédateurs	135
Chapitre 7. Les plantes et la lutte biologique	151
Chapitre 8. Le milieu aquatique	173
Chapitre 9. Les systèmes complexes de lutte biologique	195
Chapitre 10. Évaluation des méthodes de lutte biologique	215
Chapitre 11. Aspects évolutifs	243
Chapitre 12. Perspectives : vers de nouvelles méthodes de lutte biologique	263
CONCLUSION	297
BIBLIOGRAPHIE	301
SIGLES	315
À LIRE	317
SITES UTILES	319
LES AUTEURS	321

INTRODUCTION

Tout organisme vivant, du plus petit au plus grand se trouvera à un moment de sa vie la cible d'un ou plusieurs ennemis, c'est la loi de la nature. Cela peut mettre en jeu sa survie en tant qu'individu, population et/ou espèce. D'une manière schématique, la lutte biologique peut être considérée comme une manière d'utiliser les ennemis des espèces, considérées comme nuisibles, pour en réguler la population en dessous d'un seuil acceptable. Dans la pratique, la lutte biologique est utilisée depuis les balbutiements de l'agriculture pour protéger les cultures contre des agresseurs occasionnant de grosses pertes de récolte. Ces premières utilisations, très rudimentaires, étaient basées sur une observation attentive des rapports de force existant entre agresseurs et agressés, constituant ainsi le début d'une science sur les relations complexes qui s'établissent entre organismes vivants.

Les débuts de l'agriculture remontent au Néolithique (10000 à 8000 avant J.-C.). Ces nouvelles pratiques ont entraîné une concentration des ressources et une diminution des ennemis naturels par modification de l'environnement local. De plus, il est aussi vite devenu indispensable de stocker les récoltes au fur et à mesure de l'extension des villages et des villes. Ce développement de l'agriculture s'est aussi accompagné de la nécessité de protéger les cultures et les élevages par des techniques empiriques dont on a retrouvé de multiples traces. Par exemple, 1000 ans avant J.-C., Homère mentionne l'utilisation du soufre pour repousser des ravageurs. On a trouvé trace de l'utilisation de fourmis contre des ravageurs des agrumes (*Citrus*) en Mésopotamie dès 400 avant J.-C. Dans certaines régions de Chine, 200 ans avant J.-C., on vend des fourmis *Oechophylla smaragdinia* pour combattre des ravageurs des *Citrus*. Vers 1500, de nombreux naturalistes européens observent des prédateurs d'insectes puis, en 1602, Aldrovandi décrit des parasitoïdes et van Leeuwenhoek en comprend le mode de vie en 1701. En 1740, Réaumur est le premier à proposer l'utilisation de la lutte biologique dans son ouvrage intitulé *Mémoires pour servir à l'histoire des Insectes* (1734-1742) et dans les tomes suivants II et III *Suite et histoire des insectes ennemis des Chenilles et Histoire des Vers mineurs des feuilles, des Teignes, des fausses Teignes, des Pucerons, des ennemis des Pucerons, des faux Pucerons et histoire des Galles des plantes et de leurs insectes*. Un petit passereau, le mynah (*Acridotheres tristis*) originaire d'Inde, surnommé « l'ami du fermier » car il est très friand d'insectes ravageurs des cultures, est introduit aux îles Maurice en 1762, dans un but de lutte biologique. Il sera ensuite introduit dans d'autres contrées dont la Nouvelle-Zélande. À la fin des années 1700, d'autres introductions, en particulier de vertébrés, ont eu des effets négatifs, c'est le cas de l'introduction des mangoustes à

Trinidad pour lutter contre les rats. Les mangoustes étant diurnes et les rats nocturnes, les deux populations se sont développées en parallèle et les mangoustes ont dévasté des populations locales de lézards et d'oiseaux. Des introductions de chats ou de renards pour lutter contre les rats sur diverses îles ont aussi eu des effets dévastateurs sur la faune locale. Des méthodes de lutte biologique sont évoquées par Darwin en 1800, dans la revue scientifique *Phytologia*. En 1840, le Français Boisgiraud est le premier à tester la lutte biologique en plein champ : il a utilisé des coléoptères comme les carabiques et les staphylins pour en faire des lâchers en vue de limiter les pullulations du bombyx disparate (ou spongieuse), puis pour combattre l'invasion du phylloxera de la vigne (appelé aussi puceron ou pou de la vigne). Ces techniques, très empiriques, ont été utilisées partout dans le monde de manière assez limitée jusqu'à la fin du XIX^e siècle. Un pionnier, Charles Valentine Riley, a donné ses lettres de noblesse à la lutte biologique moderne. Entomologiste de pointe aux États-Unis, il a étudié la peste des sauterelles qui ont envahi de nombreux États de l'Ouest entre 1873 et 1877. Conservateur des insectes pour le *Smithsonian Institut* en 1885, il a aussi été parmi les premiers à noter que les raisins américains, *Vitis labrusca*, étaient résistants au phylloxera de la vigne. Son travail avec J. Planchon a mené à la technique de greffe de cépages français sensibles au phylloxera sur des porte-greffes de *V. labrusca* résistants. Les premiers développements de lutte biologique à grande échelle ont eu lieu aux États-Unis pour lutter contre la cochenille australienne (Riley) et contre le bombyx disparate (Howard). La première introduction d'un parasitoïde a eu lieu en 1883 : *Apanteles glomeratus* (petit hyménoptère) est introduit aux États-Unis pour lutter contre *Pieris rapae* (la piéride de la rave ou du chou). En 1905 L.O. Howard débute le premier programme scientifique de lutte biologique contre *Lymantria dispar* (bombyx disparate) avec prise de données, élevage d'auxiliaires et étude de l'impact écologique. En France, le pionnier de « la lutte biologique grande échelle » à l'aide de coccinelles *Novilis cardinalis*, pour lutter contre la cochenille *Icerya purchasi* a été Paul Marchal (Station entomologique de Paris). En 1920, est développé le premier programme de lutte biologique contre des adventices des cultures (appelées aussi mauvaises herbes) avec l'introduction en Australie de *Cactoblastis cactorum* (un petit lépidoptère) pour lutter contre *Opuntia* (le figuier de barbarie), mais depuis la fin des années 1960, il a envahi le Mexique et la Floride, s'attaquant à d'autres cactus. Pour un historique plus complet de la lutte biologique, il est possible de lire, entre autres, le dossier de Jourdeuil et de ses collaborateurs (1991).

Des succès importants ont donc été constatés, mais aussi beaucoup

d'échecs et la lutte biologique a été plus ou moins « ringardisée » avec l'arrivée sur le marché, en 1939, d'un insecticide puissant, le dichlorodiphényl-trichloréthane (DDT), suivie du développement intensif de la lutte chimique. Depuis environ 50 ans, les problèmes croissants liés à l'utilisation massive des produits chimiques ont conduit à développer différentes méthodes de lutte, dont la lutte biologique, dans un contexte de « lutte intégrée » tendant à développer la complémentarité des différentes méthodes de lutte. En effet, malgré les progrès réalisés au niveau du matériel de traitement et des formulations, les applications à grande échelle de pesticides, souvent non spécifiques, ont des conséquences néfastes sur l'équilibre naturel de la faune et de la flore. À cela s'ajoutent les problèmes de toxicité directe et indirecte des molécules actives présentes dans les pesticides. Au niveau socio-culturel, il existe une pression de plus en plus forte pour réduire les quantités de pesticides de synthèse, principalement ceux utilisés en phytoprotection. La demande actuelle est de tendre vers le zéro résidu de pesticides dans les denrées alimentaires, en particulier dans les fruits et les légumes. De plus, l'utilisation massive et répétée de pesticides induit l'apparition de résistances à certains de ces pesticides. Les récentes directives européennes visant à diminuer et/ou à interdire l'utilisation de divers pesticides de synthèse ont largement contribué à un regain d'intérêt pour les méthodes de lutte biologique et au développement de programmes de recherche de nouvelles méthodes et de nouveaux auxiliaires de lutte biologique. Ces recherches sont d'une grande importance pour la protection des cultures, mais aussi en santé humaine et animale. Le challenge est donc de parvenir à développer de nouvelles stratégies de protection en maintenant la qualité, la quantité et la rentabilité des productions, tout en réduisant drastiquement les quantités de pesticides utilisées. De plus, l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés (OGM), qui aurait pu être une méthode alternative, est rejetée par la population. La voie la plus porteuse d'espoir est de développer la protection intégrée combinant plusieurs méthodes dont les méthodes chimiques, physiques, et biologiques, ainsi que l'obtention d'espèces résistantes à leurs agresseurs, sans oublier la mondialisation des politiques de lutte et de protection de l'environnement. Il existe donc actuellement une mouvance générale au niveau mondial tendant à promouvoir ou remettre en lumière des concepts comme l'agriculture raisonnée, l'écologie, la protection de l'environnement, la lutte intégrée, l'agroécologie, l'écoagriculture, la révolution verte, la protection de la biodiversité, la simplification des techniques culturales. Cette mouvance est amplifiée par la hausse du prix du pétrole, la hausse des prix des engrais et l'hostilité de la société en général vis-à-vis des pesticides, malgré les progrès réali-

sés pour proposer de nouveaux produits efficaces, moins toxiques, n'induisant pas de résistances et plus rapidement biodégradables. De plus, le réchauffement climatique oblige à repenser la gestion de l'eau, mais aussi des peuplements végétaux par le choix des cultures, et à participer à la réduction des gaz à effets de serre ainsi qu'au stockage durable du carbone. Dans ce contexte, il existe une forte incitation à utiliser beaucoup plus les processus naturels sans renoncer totalement aux techniques antérieures. Enfin, l'augmentation des échanges à l'échelle mondiale multiplie de manière exponentielle les possibilités de dissémination d'organismes vivants en provenance d'autres parties du monde. L'introduction de ces organismes dans d'autres habitats peut se révéler bénéfique, mais peut aussi représenter une menace importante pour les organismes vivants indigènes, sans oublier la tendance à la hausse de la monoculture qui accroît les risques d'attaques massives. Développer les démarches de développement durable dans le domaine de la protection des cultures permet donc de poursuivre trois objectifs : environnemental (préservation des ressources naturelles, diminution des pollutions, amélioration de la biodiversité), économique (réduction des frais et valorisation des cultures) et social (revalorisation des métiers dans le domaine de l'agriculture). Le développement de méthodes de lutte biologique pourrait contribuer à réduire l'emploi de pesticides, au moins dans des cas bien précis de protection des cultures et des élevages. La lutte biologique (équivalent anglo-saxon : *biological control*) représente un moyen théoriquement très élégant de réduire une population d'organismes considérés comme nuisibles, en contrôlant la prolifération par le biais d'autres organismes, tout en respectant la chaîne alimentaire à laquelle ils participent. Dans un strict sens écologique, l'utilisation de la lutte biologique peut être considérée comme une stratégie pour restaurer la biodiversité fonctionnelle des écosystèmes par reconstitution ou augmentation des populations de prédateurs des espèces nuisibles dont on veut diminuer la population. Un organisme vivant, utilisé pour réduire la pullulation et/ou la nocivité d'un ennemi des productions agricoles est appelé auxiliaire de lutte biologique. Quand l'auxiliaire utilisé est un animal (le plus souvent un insecte), on parle de lutte biologique à l'aide d'entomophages qui peuvent être des prédateurs ou des parasitoïdes. Si c'est un microorganisme, on parle de lutte microbiologique. En dehors de l'exemple très médiatisé des coccinelles qui mangent les pucerons, il existe d'autres méthodes de lutte biologique utilisées avec succès. Dans le domaine de l'arboriculture et de la culture sous serres, on peut citer l'utilisation d'acariens prédateurs (phytosérides) contre des acariens nuisibles et contre des thrips. Pour les grandes cultures, on peut utiliser des trichogrammes

(petites guêpes) contre la pyrale du maïs (chenille du papillon), avec des efficacités très proches de la lutte chimique. D'autres méthodes utilisent la confusion sexuelle à l'aide de phéromones, mais aussi des extraits naturels de plantes ayant des effets insecticides et/ou répulsifs.

Le long processus de coévolution entre des organismes vivants (bactéries, champignons, nématodes, plantes, insectes, mammifères) et leurs prédateurs naturels a mené à la biodiversité actuelle, résultat d'équilibres fragiles et complexes en constante évolution. Ces équilibres, qui résultent d'interactions continues entre organismes, s'établissent selon des cycles plus ou moins longs et complexes. Dans une première phase du cycle, la sélection naturelle imposée par l'ennemi entraîne l'acquisition par l'organisme agressé de nouveaux caractères de résistance qui lui permettent de diminuer l'impact de l'attaque. De plus, si l'on considère les plantes, leur extraordinaire aptitude à synthétiser des molécules complexes et d'une diversité illimitée, impliquées dans leurs mécanismes de défense, est sans cesse renouvelée. Toutefois, il doit rester présent à l'esprit que le terme biologique souvent associé à « naturel » ne veut pas forcément dire dénué de tout impact négatif à plus ou moins long terme. L'équilibre atteint entre différents organismes devant partager un même habitat est directement dépendant des populations respectives de chacun de ces organismes et de la compétition trophique indispensable à la survie de chacun. Tout événement modifiant la population de l'un ou l'autre des organismes en interaction va avoir des conséquences directes et/ou indirectes sur ces équilibres fragiles. Pour mettre au point une méthode de lutte biologique, on considère un cas précis, par exemple une plante à protéger d'un insecte phytophage (qui se nourrit de végétaux) et l'on recherche un ennemi de cet insecte, par exemple un petit vertébré entomophage (qui se nourrit d'insectes), pour l'utiliser dans le but de réduire la population d'insectes, ce qui conduira à la protection de la plante. Cette conception linéaire de la chaîne trophique et relationnelle est utile dans une première étape. Mais il est très vite évident que cela est beaucoup plus complexe, et que toute action peut entraîner différentes réactions en cascade qui induiront des modifications plus ou moins rapides et importantes de l'environnement de départ. Ces modifications se feront au détriment d'au moins une des populations concernées avec des conséquences pouvant être désastreuses. Tout l'intérêt et toute la difficulté de la lutte biologique résident dans l'appréciation et la prévision de ces modifications. On le voit, à partir d'un principe de départ relativement simple et attrayant, on atteint très vite des niveaux élevés de complexité, en particulier quand les méthodes de lutte biologique

se développent non seulement pour la protection des cultures, mais aussi dans le domaine de la santé humaine et animale.

Dans ce livre, différents aspects de ce passionnant domaine seront abordés. Tout d'abord, il a paru indispensable de faire quelques rappels de biologie pour mieux comprendre le fonctionnement d'organismes vivants appartenant aux principaux règnes : microorganismes, végétaux et animaux en insistant sur les insectes, très utilisés en lutte biologique. Le deuxième chapitre permettra de faire le point sur les concepts et le vocabulaire de base nécessaires à une bonne compréhension de la suite de l'ouvrage en particulier dans le domaine de l'écologie. Les chapitres suivants aborderont les principaux domaines de la lutte biologique comme les méthodes impliquant des auxiliaires, des microorganismes, des plantes, des parasites et parasitoïdes, ainsi que les problèmes spécifiques liés à la lutte biologique en milieu aquatique. Les systèmes complexes de lutte biologique seront aussi abordés ainsi que l'évaluation des méthodes de lutte biologique. Les deux derniers chapitres s'intéresseront aux conséquences possibles des méthodes de lutte biologique et aux perspectives ouvertes dans ce domaine. La plupart des chapitres bénéficieront d'un éclairage spécialisé sous forme d'articles courts réalisés par différents spécialistes français de la lutte biologique. Les études et les résultats qui sont mentionnés dans cet ouvrage sont des exemples représentatifs et non une liste exhaustive. L'ensemble devrait toutefois permettre une meilleure compréhension des principaux aspects de ce domaine complexe, mais aussi faciliter une réflexion personnelle sur la fragilité des équilibres entre organismes vivants et sur les conséquences à plus ou moins long terme de toute action « biologique » ou non pouvant modifier ces équilibres.

Chapitre 1

Rappels de biologie

À partir de ce que l'on connaît des origines de la vie sur Terre et de l'évolution des premières formes de vie vers celles que l'on peut côtoyer et étudier aujourd'hui, il est possible d'éclairer un peu ce long et passionnant parcours qui a mis en présence des organismes vivants très différents dans un processus de coévolution. Ce long processus a poussé chaque organisme vivant en présence à développer des stratégies d'adaptation parfois très complexes afin de tenter de survivre, ce qui a abouti à une immense biodiversité. Ce premier chapitre est consacré à quelques rappels de biologie qui pourront être utiles pour faciliter la compréhension de la suite de l'ouvrage.

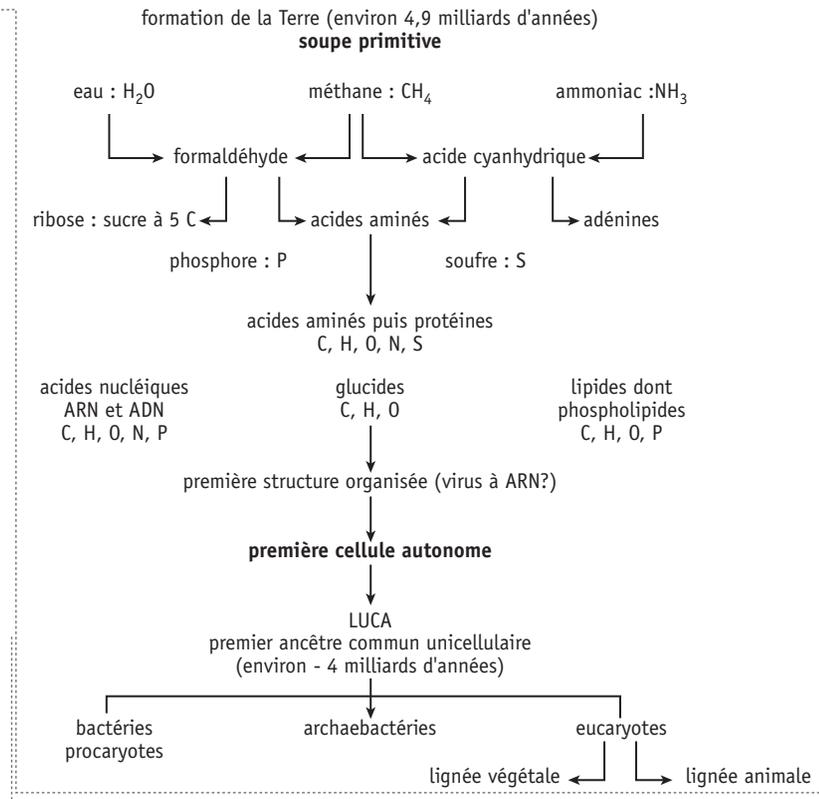
1. RAPPELS DE BIOLOGIE GÉNÉRALE : DE LA CELLULE À L'ORGANISME

La pratique de la biologie est aussi ancienne que l'homme car depuis des temps très anciens, les hommes se sont transmis leur connaissance des plantes et des animaux qui les entouraient afin d'améliorer leurs propres chances de survie. Au cours du temps on a donné différents noms à l'étude des végétaux, des animaux et de l'être humain, des noms comme philosophie, philosophie naturelle, empirisme, histoire naturelle, sciences naturelles, botanique... Le mot « biologie » résulte de la contraction de deux mots grecs : *bios*, « la vie » et *logos*, « connaissance de ou étude de ou science de ». Ce terme est apparu pour la première fois en 1766 dans le titre du volume 3 du livre *Philosophiae naturalis sive physicae dogmaticae: geologia, biologia, phytologia generalis et dendrologia*, écrit par Michael Christoph Hanov (1695-1773). Le mot biologie a été défini à la fin du XVIII^e siècle par le naturaliste français Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829) qui a écrit : « Tout ce qui est généralement commun aux végétaux et aux animaux comme toutes les facultés qui sont propres à chacun de ces êtres sans exception, doit constituer l'unique et vaste objet d'une science particulière qui n'est pas encore fondée, qui n'a même pas de nom, et à laquelle je donnerai le nom de biologie ». Cette définition, qui a eu le mérite de poser les bases d'une nouvelle science, est très incomplète car elle omet tout ce qui concerne les microorganismes c'est-à-dire les organismes vivants de très petite taille, dont l'étude fait l'objet d'une branche spécifique de la biologie, la microbiologie. La définition du vivant est d'ailleurs toujours l'objet d'intenses et passionnantes discussions entre les différentes écoles de pensée. En effet, la distinction entre vivant et non-vivant est parfois très complexe et mêle aussi bien des notions scientifiques que philosophiques. Il est très intéressant de réfléchir à cette question importante mais, pour simplifier, il est possible de résumer ainsi : est vivant tout être organisé qui naît, se développe et se reproduit de façon autonome, puis meurt. Par exemple, de nombreux scientifiques pensent que les virus ne peuvent pas être considérés comme des organismes vivants car ils sont incapables de se reproduire de façon autonome. En effet, un virus a besoin d'infecter une cellule animale, végétale ou même une bactérie pour pouvoir se reproduire en utilisant la machinerie cellulaire de cette cellule hôte. Pour d'autres scientifiques, les virus

seraient les premières formes de vie apparues sur Terre, une sorte de transition entre un ensemble de biomolécules complexes et une cellule autonome. Ces premières étapes de l'apparition de la vie sur Terre demeurent hypothétiques et font donc l'objet d'intenses controverses. Toutefois, il semble maintenant généralement acquis que ces toutes premières étapes se sont produites dans ce que l'on a appelé la « soupe primitive », résultant de la condensation de vapeur d'eau (H_2O), de méthane (CH_4), d'ammoniac (NH_3) et de dioxyde de carbone (CO_2) qui a accompagné la formation de notre planète il y a environ cinq milliards d'années. Cette soupe primitive contenant de grandes quantités de carbone (C), d'hydrogène (H), d'oxygène (O) et d'azote (N) en contact direct avec les éléments minéraux des roches a été soumise à des températures et des pressions élevées ainsi qu'à des décharges électriques et des rayonnements intenses. Cet ensemble a constitué un mélange très réactif où se sont élaborées les premières molécules complexes à l'origine des formes de vie sur Terre que sont les glucides (hydrates de carbone = sucres), les acides aminés (éléments de base des protéines) et les nucléotides (éléments indispensables à la synthèse des acides nucléiques, c'est-à-dire l'ARN : acide ribonucléique et l'ADN : acide désoxyribonucléique). C'est le domaine de ce que l'on appelle la chimie prébiotique (avant la vie). Ces premières réactions chimiques ont été reconstituées en laboratoire par la célèbre expérience de Stanley Miller qui a imaginé un appareillage permettant de simuler les conditions supposées avoir existé sur la Terre primitive. Après 24 heures, environ la moitié du carbone présent au début de l'expérience, principalement sous forme de méthane, a été transformée en acides aminés et autres molécules organiques nécessaires à la vie. De nombreuses tentatives ont été faites pour reconstituer en laboratoire les étapes suivantes aboutissant à la formation des premières structures vivantes. On peut citer l'expérience de Sydney Fox qui a obtenu des microsphères de protéinoïdes qui pourraient représenter la première étape d'organisation vers la cellule vivante capable de croître de façon autonome et de se reproduire en transmettant ses caractéristiques aux générations suivantes. Ce long parcours de la soupe primitive à la première cellule est résumé dans la figure 1.

La cellule, du latin *cellula*, petite chambre, est l'unité de base de tout organisme vivant. Toute cellule vivante est constituée d'une structure plus ou moins complexe toujours entourée d'au moins une enveloppe qui la sépare du milieu extérieur tout en permettant des échanges avec ce milieu. C'est un principe de base commun à tous les organismes vivants : compartimenter et communiquer. Une cellule contient au moins un chromosome (longue chaîne d'ADN) qui constitue son patrimoine génétique (ensemble de gènes) transmis à ses descendants en totalité ou en partie. Dans le cas des cellules eucaryotes (noyau vrai), les chromosomes sont rassemblés dans un noyau (caryon) entouré d'une membrane, ce qui n'est pas le cas des cellules procaryotes (avant le noyau). Jusqu'en 1977, seulement deux grandes branches évolutives du vivant étaient reconnues, à savoir les procaryotes (bactéries) et les eucaryotes répartis dans le règne animal et le règne végétal.

Fig. 1 De la soupe primitive à la première cellule



Ce sont les travaux de Carl Woese et de ses collaborateurs (1977, 1990, 1998) qui ont établi que les archaebactéries, elles aussi procaryotes, appartenaient à une branche distincte de celle des bactéries. L'universalité du code génétique montre que tous les organismes vivants, qu'ils soient procaryotes ou eucaryotes, descendent vraisemblablement d'un même ancêtre. L'étude de plusieurs gènes existant chez tous les organismes vivants répertoriés à ce jour (gènes codant les ARN ribosomiaux, gènes codant des enzymes impliquées dans le métabolisme primaire...) montre que leurs séquences ont globalement peu varié. Les petites variations constatées servent d'ailleurs à étudier les relations de parenté existant entre les divers organismes vivants (phylogénie). Un ancêtre pouvant être commun à toutes les cellules de tous les organismes vivants a été appelé « *The Last Universal Common Ancestor* », de son petit nom LUCA (c'est aussi un clin d'œil à Lucy, une de nos ancêtres hominidés). LUCA n'est pas le stade de vie le plus précoce car il remonte « seulement » à un peu plus de trois milliards d'années et il est maintenant couramment admis qu'avant l'évolution de l'ADN et des protéines, molécules communes à tous les organismes vivants, il a existé une période pendant laquelle l'ARN a sans doute joué un rôle prédominant (Jeffares et Poole, 2000). LUCA a donc sans doute représenté une forme de vie commune aux trois grands domaines de la vie reconnus universellement que sont les archaebactéries (*Archaea*), les bactéries

(*Bacteria*) et les eucaryotes (*Eucarya*), au moins pendant une période de temps indéterminée, un peu de la même façon que le chimpanzé et l'homme ont partagé une histoire commune il y a environ dix millions d'années avant de diverger. Les conclusions de Woese et de ses collaborateurs ont été confirmées par d'autres travaux (Musheigan et Koonin, 1996) et plus particulièrement au fur et à mesure du séquençage (décryptage) de génomes complets. Il est évident que nous ne pourrons jamais savoir qui était vraiment LUCA car, très vite, au cours de l'évolution, il s'est produit des variations génétiques et des transferts de gènes entre les divers organismes vivants.

Un organisme vivant est soit unicellulaire (formé d'une seule cellule) soit multi ou pluricellulaire (formé de quelques cellules, jusqu'à plusieurs milliards). Toute cellule a un cycle de vie et peut se diviser pour donner deux cellules identiques par mitose : c'est le mode de reproduction utilisé par les organismes unicellulaires, par exemple, les bactéries. Dans un organisme multicellulaire, les cellules filles issues de la division pourront ensuite se spécialiser pour remplir une fonction précise au sein de l'organisme : c'est le processus de différenciation cellulaire. Les cellules non différenciées sont appelées « cellules souches ». Dans certains organismes vivants, par exemple les plantes, les cellules différenciées sont capables de se dédifférencier pour reformer une réserve cellulaire qui pourra ensuite se redifférencier suivant les besoins. Une cellule qui peut se différencier pour donner différents types de cellules spécialisées est appelée multipotente (potentialités multiples) et une cellule capable, comme la cellule végétale, de régénérer un organisme complet identique à celui dont elle provient est appelée totipotente (toutes les potentialités).

Pour un organisme vivant, il existe trois grands types de fonctions : nutrition, reproduction et communication (fig. 2). Les fonctions de nutrition regroupent non seulement tout ce qui concerne l'ingestion et la transformation des aliments mais aussi la respiration et la circulation. Il existe deux grandes catégories d'organismes : les organismes autotrophes (autoalimentés) qui sont capables de synthétiser à partir d'éléments simples les molécules organiques complexes dont ils ont besoin comme sources d'énergie, et les hétérotrophes (qui se nourrissent de l'autre) qui dépendent d'une source extérieure de molécules organiques pour répondre à leurs besoins énergétiques. Les hétérotrophes primitifs se sont développés grâce aux réserves de molécules organiques complexes accumulées pendant des millions d'années dans la soupe primitive. Au fur et à mesure que ces ressources se raréfiaient, la compétition pour la nourriture s'est développée et a favorisé les organismes capables de fabriquer leurs propres molécules complexes riches en énergie, ce qui a permis à la vie terrestre de continuer à évoluer en établissant des réseaux trophiques (alimentaires) de plus en plus complexes. Les plus autotrophes des organismes sont ceux appartenant au règne végétal qui ont acquis la capacité d'effectuer la photosynthèse, c'est-à-dire la possibilité d'utiliser l'énergie solaire pour effectuer la synthèse de molécules organiques riches en énergie (les sucres) et de stocker cette énergie sous forme de polymères de sucres simples, principalement l'amidon. On a retrouvé des traces de ces organismes très simples, unicellulaires, vivant dans l'eau, dans des roches datant d'environ 3,5 milliards d'années. Ce sont pour la plupart des

bactéries photosynthétiques (cyanobactéries) qui se sont développées rapidement et ont permis l'enrichissement des eaux, puis de l'atmosphère, en dioxygène (O_2). Ceci a eu pour conséquence la formation de la couche d'ozone (O_3) protégeant tous les organismes vivants des rayons UV très nocifs mais aussi le développement de formes de vie utilisant l'oxygène pour une meilleure transformation des molécules organiques par l'intermédiaire de la respiration, favorisant ainsi les formes de vie aérobies par rapport aux formes anaérobies. L'observation des fossiles permet aussi de dire que l'accroissement en oxygène libre a permis l'apparition, il y a environ 1,5 milliard d'années, de cellules eucaryotes beaucoup plus grandes et possédant un noyau avec enveloppe nucléaire mais aussi des mitochondries (respiration) présentes aussi bien dans les cellules animales que végétales et des chloroplastes (photosynthèse), présents seulement dans les cellules végétales. Il est maintenant communément admis que les mitochondries et les chloroplastes seraient les descendants de procaryotes phagocytés (absorbés) par une grande cellule primitive et ayant conservé une partie importante de leur patrimoine génétique (ADN mitochondrial et ADN chloroplastique). Les procaryotes initiaux phagocytés se sont spécialisés en perfectionnant certaines de leurs fonctions comme la respiration et la synthèse d'énergie pour les mitochondries ou la photosynthèse pour les chloroplastes. Ces cellules eucaryotes primitives peuvent donc être considérées comme les premières symbioses efficaces et à l'origine de tous les organismes vivants des deux grands règnes : le règne végétal et le règne animal.

Les fonctions de reproduction assurent la pérennité de l'espèce par divers mécanismes du plus simple (mitose = division à l'identique), au plus complexe, caractérisé par la production et la rencontre de cellules sexuellement spécialisées mais aussi par la protection du jeune individu et éventuellement son éducation pour certaines espèces, dont l'homme. Dans la reproduction sexuée, l'œuf ou zygote provient de la fécondation, c'est-à-dire de la fusion d'une cellule mâle et d'une cellule femelle appelées gamètes. Le zygote donnera naissance à un embryon qui se développera pour donner un nouvel organisme. Les modes de reproduction spécifiques de divers organismes seront abordés dans les sections suivantes et dans les autres chapitres.

Un organisme vivant est aussi caractérisé par sa capacité à échanger avec le milieu dans lequel il vit et avec d'autres organismes vivants. Ces échanges concernent principalement les nutriments, l'énergie et l'information. Pour tout organisme vivant, même unicellulaire, il est nécessaire de coordonner des échanges à l'intérieur de la cellule (intracellulaire) mais aussi de cellule à cellule (extracellulaire et intercellulaire). Ces fonctions comportent généralement une phase de réception d'une information, une phase de transformation et une phase de transmission à une autre cellule, un autre organisme ou à l'environnement. Ces fonctions de communication peuvent être aussi complexes et variées que la perception de la lumière enclenchant la photosynthèse chez les plantes ou une fonction sensorielle comme la vision chez les animaux. Ces fonctions de communication jouent un rôle primordial dans l'adaptation de chaque organisme à son environnement biotique et abiotique.