

Avant-propos

Les algues unicellulaires et les cyanobactéries sont des acteurs incontournables de la vie sur Terre. Elles sont à l'origine de la production de la moitié de l'oxygène présent sur notre planète. Indépendamment de ce rôle écologique majeur, les microalgues sont de véritables usines cellulaires à l'origine de la synthèse de métabolites variés et d'intérêt pour l'activité humaine. Elles produisent notamment des pigments originaux tels que les phycobiliprotéines, des polysaccharides, des enzymes, mais également des lipides et des acides gras à longue chaîne carbonée, dont la valorisation en tant que biofuel suscite une nouvelle voie de valorisation de ces micro-organismes. Indépendamment des valorisations biotechnologiques issues de ce concept d'usine cellulaire et du bioraffinage qui en découle, les microalgues constituent également une ressource alimentaire pour la nutrition humaine ou animale.

Cet ouvrage a pour objet de faire le point sur les caractéristiques biologiques et écologiques des microalgues, qu'elles soient marines, dulçaquicoles ou même atmosphériques. Les cyanobactéries (par exemple *Arthrospira* sp. ou *Spirulina* sp.) sont également traitées, car elles furent longtemps répertoriées comme « algues bleues » sous l'appellation botanique de cyanophycées.

Il se propose également de faire un bilan sur les modes de production et les applications actuelles des microalgues et des cyanobactéries, que ce soit dans le domaine alimentaire ou dans celui des biotechnologies. En ce qui concerne les applications alimentaires, les valorisations actuelles des microalgues dans la nutrition animale, mais également dans la nutrition humaine sous la forme de compléments alimentaires, sont présentées. Les perspectives de développement

dans ces secteurs d'application sont discutées à l'aune des contraintes économiques et réglementaires.

Les valorisations biotechnologiques des microalgues en tant qu'usines cellulaires productrices de molécules à haute valeur ajoutée sont également décrites dans cet ouvrage. Les techniques d'extraction de ces molécules ainsi que les nouvelles approches de valorisation telles que le bioraffinage sont également traitées. Enfin la perspective biotechnologique d'employer des microalgues génétiquement modifiées pour la production de molécules à visée thérapeutique est développée au regard des avancées actuelles de la recherche dans le domaine.

Je remercie Yves-François Pouchus et Olivier Grovel pour leurs illustrations.

Introduction

Les cyanobactéries et les microalgues sont, du point de vue chronologique, à l'origine de la production d'oxygène par voie photosynthétique sur notre planète. La photosynthèse oxygénique par les cyanobactéries s'est probablement produite il y a 3 milliards d'années (Sardet 2013). L'apparition des premières cellules eucaryotes, dont les microalgues, est, quant à elle, estimée à 1,5 ou 2 milliards d'années. L'étendue de la diversité biologique algale dans l'océan a été longtemps inconnue (Sournia *et al.* 1991). Le nombre d'espèces de microalgues n'est toujours pas établi de manière définitive et les chiffres donnés dans la littérature scientifique oscillent entre 70 000 et 150 000 espèces. *A contrario*, des estimations hautes évoquent un million d'espèces (De Vargas *et al.* 2012 ; Nef 2019). Une biodiversité aussi variée et pas toujours facilement accessible pose encore des problèmes de recensement aux biologistes, expliquant ainsi la divergence des chiffres cités plus haut. Cette difficulté s'est également posée lors de l'établissement d'une classification chargée de répertorier les microalgues en groupes botaniques distincts (voir section 1.1.2). La classification traditionnelle initialement basée sur la composition pigmentaire des microalgues a permis d'établir trois grands groupes taxonomiques ou phyla appelés communément « algues vertes », « algues rouges » et « algues brunes ». Les cyanobactéries, longtemps considérées comme des algues, étaient quant à elles répertoriées comme « algues bleues ». Cependant, les critères pigmentaires ne se sont pas toujours révélés suffisants pour classer les algues et rapporter leur parcours évolutif. D'autres caractères, comme la nature de l'endosymbiose à l'origine du chloroplaste (endosymbiose primaire ou secondaire) (voir figure I.1), ont enrichi la classification en permettant de proposer de nouveaux groupes taxonomiques. C'est le cas notamment du groupe des Glaucophytes, dont le chloroplaste est issu d'une endosymbiose

primaire mais a gardé certains caractères ancestraux marquants comme la présence d'une paroi peptidoglycane entre deux membranes. Cette caractéristique est effectivement partagée entre ces organismes et les cyanobactéries (Lecointre et Le Guyader 2016). Les Glaucophytes sont toutefois des microalgues peu répandues et que l'on trouve surtout en eau douce (lacs, marécages, mares) (Lecointre et Le Guyader 2016). Ces organismes, ne faisant pas l'objet de valorisations, ne seront pas traités dans la suite de cet ouvrage.

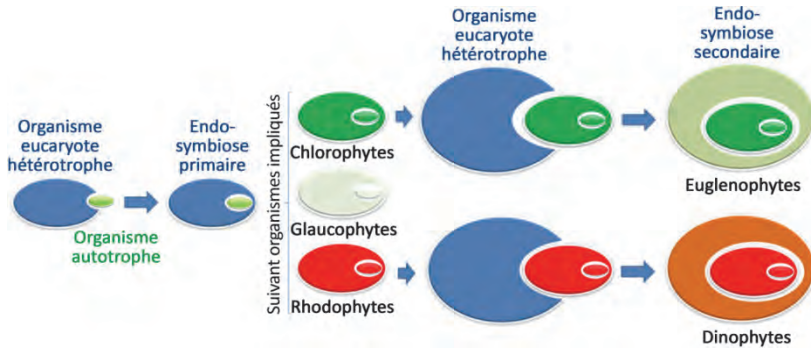


Figure I.1. Mécanismes des endosymbioses primaire et secondaire permettant de retracer le parcours évolutif de certains groupes d'algues (source : Pouchus Y.-F.)

La classification phylogénétique s'appuyant principalement sur des critères moléculaires tels que l'ADN ribosomique, elle a fait éclater les principaux groupes préalablement établis par la classification traditionnelle (voir figure I.2). Il n'en demeure pas moins que le valorisateur, pour des raisons évidentes de commodité, reste attaché et utilise toujours les dénominations d'algues rouges, brunes ou vertes pour décrire la biomasse algale.

Les microalgues montrent une grande plasticité métabolique et une aptitude naturelle aux transferts horizontaux de gènes. Cette dernière propriété est à l'origine de l'évolution extrêmement diversifiée des algues. Ces deux caractéristiques naturelles des microalgues en font également des auxiliaires biotechnologiques précieux pour la production de molécules d'intérêt comme les protéines recombinantes (Cadoret *et al.* 2008) ou encore le biofuel (Maeda *et al.* 2018). Enfin, les microalgues, comme la chlorelle, et les cyanobactéries, telle que la spiruline, entrent déjà dans l'alimentation animale et humaine, même si dans ce dernier cas cela demeure plus un complément alimentaire qu'un aliment à part entière.

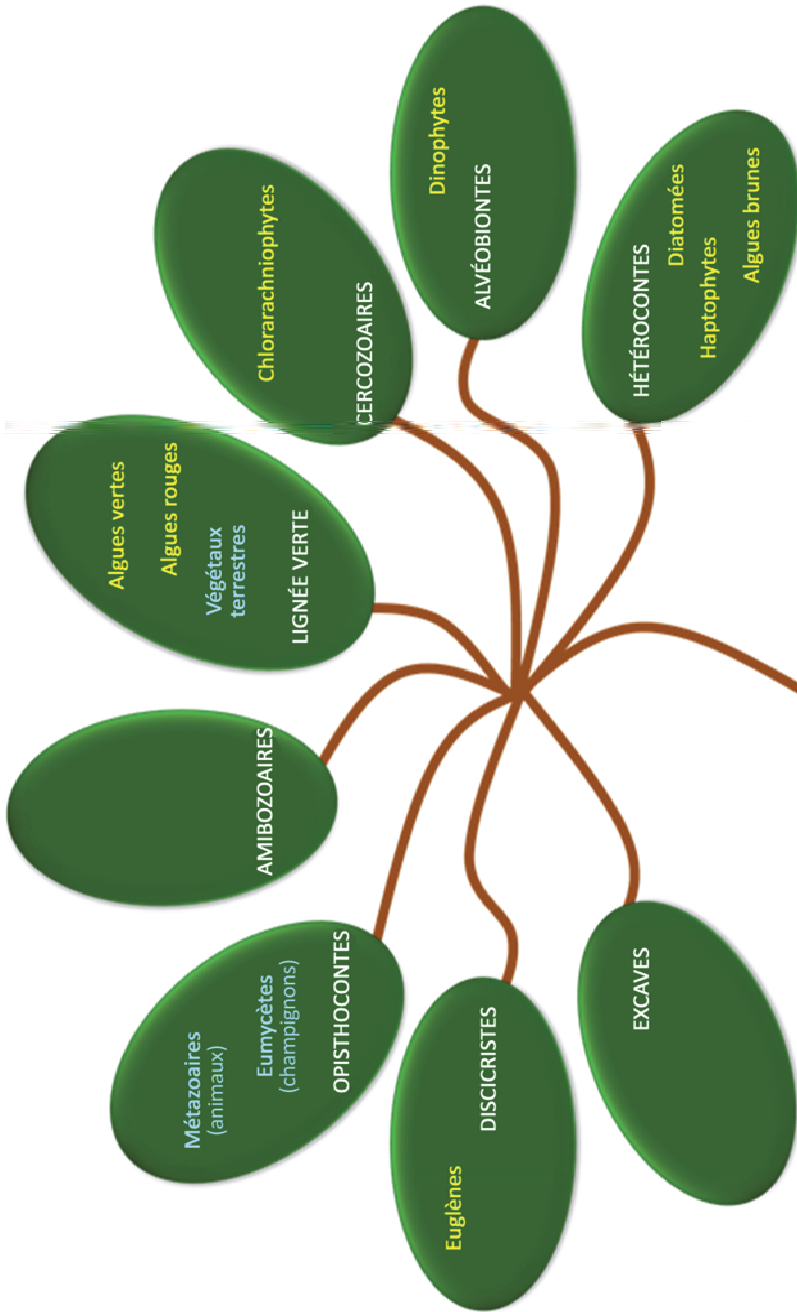


Figure 1.2. Arbre phylogénétique synthétique redistribuant les principaux groupes d'algues (source : Pouchus Y.-F.)