

Algoculture



Photobioréacteur au kibboutz Ketura dans le désert du Néguev (Israël)

L'**algoculture** ou **phycoculture** désigne la culture en masse des algues dans un but industriel et commercial. Ce domaine concerne aussi bien les micro-algues (également appelées phytoplancton, microphytes, algues planctoniques) que les macro-algues (que l'on désigne aussi par le terme varech en français).

Le but de cette activité aquacole est de produire aussi bien des aliments (pour notre consommation ou comme algues fourrages), des compléments alimentaires, des produits vétérinaires et pharmaceutiques, des cosmétiques, des matières bio-plastiques, des fertilisants ou encore des sources d'énergies renouvelables (alco-carburant, biogaz) ou en phytoremédiation. Des usages plus récents portent sur les nanobiotechnologies ou bien le génie génétique.

1 Historique et perspectives



Description d'une récolte d'algues et de gâteau d'algues faits par les Aztèques (Codex de Florence, Fin XVI^e siècle)

Les algues sont consommées par l'Homme depuis la pré-histoire. Les Aztèques pratiquaient l'algoculture de la spiruline comestible *Arthrospira* au XVI^e siècle. La première culture expérimentale d'algue unicellulaire fut réalisée par Beijerinck en 1890, avec une souche de *Chlorella vulgaris*^[1]. En 1919, Warburg utilise pour la pre-

mière fois une culture d'algues comme modèle d'étude en physiologie végétale^[2]. Les premiers travaux portant sur la culture d'algues en masse en bassins ouverts furent menés par des scientifiques allemands durant la Seconde Guerre mondiale. Au début des années 1950, des chercheurs du Carnegie Institute, à Washington, des chercheurs s'intéressent à la culture d'algues pour réduire les teneurs en CO₂. En 1960, aux États-Unis, Oswald et Golueke proposent de traiter les eaux usées en y cultivant des micro-algues, et de récupérer la biomasse obtenue pour la convertir en méthane (biogaz)^[3].

Durant les années 1970, les principaux pays producteurs de biomasse algale sont Israël, le Japon et l'Europe de l'Est. Il s'agit alors de cultures en bassins ouverts pour l'alimentation. En Afrique et au Mexique se développent par cette technique la culture de la Spiruline, au niveau du lac Tchad et du lac Texcoco.

En 1978, la crise du pic pétrolier incite le *Department of Energy's Office of Fuel Development* des États-Unis à entamer des travaux sur la production de biomasse algale et sa transformation en biocarburants. Ces travaux^[4], qui s'échelonnent de 1978 à 1996, seront brutalement interrompus avant de connaître un nouvel essor avec la recherche d'énergies renouvelables.

Alors que la production de biomasse algale présentait un attrait fort en aquaculture^[5], leur intérêt comme producteurs de composés fins en pharmacologie, cosmétologie et en agro-alimentaire a commencé à retenir de plus en plus l'attention des industriels et scientifiques. Les photobioréacteurs ont connu un très vif intérêt et développement technique dès les années 1990, en raison des contrôles plus poussés qu'ils permettent sur la production algale par rapport aux bassins ouverts.

Le domaine médical connaît également un attrait pour les algues. La présence de nombreuses biomolécules actives représente une manne intéressante dans la recherche de nouveaux composés d'intérêt pharmacologique. Citons par exemple les carraghénanes d'algues rouges pouvant prévenir d'infections virales^[6] ou encore le brevénal, composé produit par la micro-algue toxique *Karenia brevis* et qui pourrait être un composé efficace dans la lutte contre la mucoviscidose^[7].

Le domaine des biotechnologies peut tirer avantage de la production en masse d'algues génétiquement modifiées. Il est ainsi possible d'utiliser la machinerie cellulaire de ces micro-organismes pour produire des protéines d'intérêt, grâce au génie génétique. Des travaux ont permis ainsi de synthétiser et d'assembler correctement l'anticorps

monoclonal humain IgG1 dans des chloroplastes génétiquement modifiés de *Chlamydomonas reinhardtii*^[8]. De manière plus générale, la production en masse de vaccins recombinants par des micro-algues est possible et permet d'éviter certains risques de contamination parasites biologiques inhérents aux biotechnologies animales^[9].

Depuis 1988, les diatomées présentent également un nouvel attrait dans le domaine des nanobiotechnologies : la frustule silicieuse de ces algues microscopiques est capable d'adopter des propriétés électroniques ou de permettre de délivrer des médicaments dans l'organisme^[10]. De plus, il est possible de jouer sur les propriétés opto-électroniques de la frustule en y incorporant par exemple du germanium^[11].

Enfin, les micro-algues peuvent servir de filtres naturels afin de collecter des métaux lourds et particules toxiques^[12], et peuvent être utilisées dans des programmes de phytoremédiation. Citons à titre d'exemple le programme de réhabilitation du lac de Salton Sea (Californie), fortement pollué par les rejets d'origine agricole^[13].

2 Méthodes de cultures en masse

Toutes les espèces d'algues ne sont pas encore cultivables. Certaines macro-algues sont donc encore prélevées en mer ou sur l'estran, à partir de gisements naturels. D'autres sont cultivées dans des « champs marins », comme les algues brunes *Laminaria japonica* (4,9 millions de tonnes / an) et *Undaria pinnatifida* (2,7 millions de tonnes / an). (voir pour plus de détails l'article sur la mariculture).

2.1 Bassins ouverts

Les micro-algues peuvent être cultivées en masse dans des bassins ouverts (lacs, lagunes, bassins naturels ou structures artificiels, comme les bassins de type « raceway ») ou dans des photobioréacteurs fermés^[14].

Certaines macro-algues sont également cultivées en bassin de type « raceway » avec une agitation mécanique (*Chondrus crispus*), ou par bullage intense basse pression (*Gracilaria*, *Palmaria*).

Les avantages majeurs des **bassins ouverts** restent leur facilité de construction et le fait qu'ils soient rapidement opérationnels et productifs. Mais les cultures y sont difficilement contrôlables, dépendant de la concentration atmosphérique en CO₂ et de la luminosité naturelle, manquant de brassage du volume de culture, elles n'ont pas une productivité sur de longues périodes et peuvent facilement être contaminées par des parasites ou prédateurs extérieurs.

2.2 Photobioréacteurs

À l'inverse, les photobioréacteurs sont plus chers à construire et plus complexes à mettre en place, mais assurent un meilleur contrôle de la culture et une production plus durable dans le temps. Il en existe trois grands types :

- **Les photobioréacteurs à colonne verticale** : faciles à stériliser, ils permettent une biomasse importante^[15]. Mais leur réalisation nécessite un matériel sophistiqué et la répartition de la lumière est plutôt hétérogène à l'intérieur de la colonne.
- **Les photobioréacteurs tubulaires** : faciles à réaliser, utilisables à l'extérieur, ils forment un réseau de tubes horizontaux, verticaux, obliques, coniques ou encore serpentins^[14]. Ils assurent une bonne production de biomasse à moindre coût. Cependant, des gradients de pH, de CO₂ et d'O₂ dissous peuvent apparaître dans les tubes^[16], ainsi que des phénomènes de fouling, affectant la productivité du système.
- **Les photobioréacteurs plats** : ils ont été introduits par Milner en 1953^[17]. Ils assurent une bonne pénétration de la lumière et une production importante de la biomasse et un fort rendement photosynthétique^[18], sont faciles à nettoyer et à tempérer pour les cultures et peuvent être installés à l'extérieur. L'accumulation de dioxygène dissous est relativement faible dans les photobioréacteurs plats par rapport aux photobioréacteurs tubulaires horizontaux. Mais ils créent des différences de température difficile à gérer et peuvent induire des stress hydrodynamiques chez certaines espèces d'algues^[14].

Il faut également noter que pour résoudre les problèmes d'irradiance lumineuse dans la culture en photobioréacteur, des systèmes illuminés à l'intérieur du volume de culture par des lampes à fluorescence ont été proposés^[19]. Ces systèmes présentent l'avantage de pouvoir être stérilisés à chaud et sous pression, mais restent difficiles à mettre en œuvre dans un environnement extérieur^[14].

2.3 Fermenteurs

Certaines micro-algues peuvent être cultivées sans lumière, de manière **hétérotrophique**, en utilisant des substrats organiques comme sources nutritives. Ces systèmes de culture permettent la production de composés à fort intérêt pharmaceutique, et des cultures commerciales de *Chlorella* dans des fermenteurs à agitation sont communes^[20]. Des procédés plus complexes, comme une alternance de cycles jours / nuits pour la mise en place de cycles photosynthétiques et hétérotrophiques, ont également été proposés. La micro-algue *Euglena gracilis* peut être ainsi cultivée selon cette méthode afin de produire de l' α -tocophérol^[21].

2.4 Exemples de bioproductions

Les tableaux ci-dessous présentent une suite d'exemples d'algoculture expérimentale tirés de la littérature scientifique :

- Cultures en bassins ouverts
- Photobioréacteurs
- Comparaison entre fermenteurs et autres moyens de production ^[30]

3 Applications commerciales

3.1 Macro-algues

La production de macro-algues représente 88 % de la production mondiale d'algues. Depuis le développement de l'algoculture et de la mariculture pour beaucoup d'espèces d'intérêt commercial, elle est devenue largement plus importante que la cueillette : 14,8 millions de tonnes produites en 2005 contre 1,3 million de tonnes collectées. La quasi-totalité de ces cultures se fait en Asie. En 2005, les algues brunes sont les macro-algues les plus cultivées (7,8 millions de tonnes), suivies des algues rouges (4,8 millions de tonnes). Les algues vertes ne représentent alors que 13000 tonnes. L'essentiel de la production se fait en Asie^[31].

Les algues brunes les plus cultivées sont *Saccharina japonica* (4,9 millions de tonnes / an) et *Undaria pinnatifida* (2,7 millions de tonnes / an). Parmi les algues rouges, les plus cultivées sont *Porphyra tenebra* (1,39 million de tonnes), *Eucheuma sp.* (1,38 million de tonnes) et *Gracilaria sp.* (1,03 million de tonnes).

Leur production est écoulee principalement sous forme d'aliments pour les marchés de la Chine et la Corée du Sud et du Japon. Elles sont aussi cultivées pour leurs phycocolloïdes : les carraghénanes extraits de l'algue rouge *Chondrus crispus* servent de gélifiants, de même que l'agar-agar. Elles sont aussi utilisées comme tourteaux pour l'alimentation animale.

3.2 Micro-algues

La commercialisation à large échelle de micro-algues a commencé dans les années 1960 au Japon, avec la culture de Chlorelles^[32]. Le second exemple fut la mise en place de cultures à ciel ouvert de *Spirulina* le long du lac Texcoco par la Sosa Texcoco S.A. en 1977. Au début des années 1980, 46 sites de grande taille produisaient en Asie plus d'une tonne de micro-algues par mois (principalement du genre *Chlorella*)^[33]. La production de β -carotène par *Dunaliella salina* devint la troisième production commerciale mondiale dès 1986 avec la mise en place d'instal-

lations privées australiennes, bientôt suivies par des initiatives israéliennes et américaines. En une période de 30 ans, l'algoculture s'est sensiblement développée pour atteindre des productions annuelles de l'ordre du millier de tonnes^[34] :

4 Articles connexes

- Agar-agar
- Algocarburant
- Aquaculture
- Carraghénane
- Mariculture
- Micro-algues
- Spiruline

5 Références

- [1] Beijerinck, M.W. (1890). Kulturversuche mit Zoochloren, Lichenengonidien und anderen niederen. *Algen. Bot. Ztg.* 48, 725-785.
- [2] Warburg, O. (1919). Über die Geschwindigkeit der Kohlenäurezusammensetzung in lebenden Zellen. *Biochemische Zeitschrift* 100, 230-270
- [3] Oswald W.J. and Golueke C.G. (1960). Biological transformation of solar energy. *Advances in Applied Microbiology* 11, 223-242.
- [4] NREL : A look back at the US Department of Energy's Aquatic Species Program : Biodiesel from Algae. 1998. 328 p. eere.energy.gov (consulté le 11/01/06)
- [5] Muller-Feuga, A. (2000). The role of microalgae in aquaculture : situation and trends. *J. Appl. Phycol.* 12, 527-534.
- [6] Buck C.B., Thompson C.D., Roberts J.N., Müller M., Lowy D.R., Schiller J.T. (2006). Carrageenan is a potent inhibitor of Papillomavirus infection. *Plos Pathogens*, 2, 7.
- [7] SpectroSciences. Une algue toxique pour lutter contre la mucoviscidose. 15 mai 2007. spectrosciences.com
- [8] Miller T., Zhou B., Pettersson P. L., Gonzalez M. J., Mayfield S. P. (2009). Synthesis and assembly of a full-length human monoclonal antibody in algal chloroplasts. *Biotechnology and Bioengineering* 104(4), 663-673.
- [9] Siripornadulsil S., Dabrowski K., Sayre R. (2007). Microalgal Vaccines. In : *Transgenic Microalgae as Green Cell Factories*, Springer New York Edt., p. 122-128. ISBN 978-0-387-75531-1 . DOI 10.1007/978-0-387-75532-8_11

- [10] Richard G., Losic D., Tiffany M.A., Nagy S. S., Frithjof A.S. Sterrenburg. (2009). The Glass Menagerie : diatoms for novel applications in nanotechnology. *Trends in Biotechnology* 27(2), 116-127.
- [11] Clayton J., Jun Jiao T. G., Rorrer. G. L. (2008). Two-stage photobioreactor process for the metabolic insertion of nanostructured germanium into the silica microstructure of the diatom *Pinnularia* sp. *Materials Science and Engineering : C* 28(1), 107-118.
- [12] Perales-Vela H. V., Peña-Castro J. M., Cañizares-Villanueva R. O. (2006). Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae. *Chemosphere* 64(1),1-10.
- [13] Benemann J.C., Van Olst J.C., Massingill M.J., Weissman J.C., Brune D.E. The controlled Eutrophication Process : Using Microalgae for CO₂ Utilization and Agricultural Fertilizer Recycling. (2002). Working Paper. unh.edu
- [14] Ugwu C.U., Aoyagi H., Uchiyama H. (2008). Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Bioresource Technology* 99, 4021-4028.
- [15] Sanchez Miron A., Ceron Garcia M.C., Garcia Camacho F., Molina Grima, E., Chisti Y. (2002). Growth and characterization of microalgal biomass produced in bubble column and airlift photobioreactors : studies in fed-batch culture. *Enzyme Microb. Technol.* 31, 1015-1023.
- [16] Camacho Rubio F., Acien Fernandez F.G., Sanchez Perez J.A., Garcia Camacho F., Molina Grima E. (1999). Prediction of dissolved oxygen and carbon dioxide concentration profiles in tubular photobioreactors for microalgal culture. *Biotechnol. Bioeng* 62, 71-86.
- [17] Milner H.W. (1953). Rocking tray. In : *Burlew, J.S. (Ed.), Algal Culture from Laboratory to Pilot Plant*. Carnegie Institution, Washington, DC, p. 108, No. 600.
- [18] Richmond, A. (2000). Microalgal biotechnology at the turn of the millennium : a personal view. *J. Appl. Phycol.* 12, 441-451.
- [19] Ogonna, J.C., Soejima, T., Tanaka, H. (1999). An integrated solar and artificial light system for internal illumination of photobioreactors. *J. Biotechnol.* 70, 289-297.
- [20] Lee, Y.K. (1997). Commercial production of microalgae in the Asia-pacific rim. *J. Appl. Phycol.* 9, 403-411.
- [21] Ogonna, J.C., Tomiyama, S., Tanaka, H. (1998). Heterotrophic cultivation of *Euglena gracilis* Z for efficient production of α -tocopherol . *J. appl. Phycol.* 10, 67-74.
- [22] Richmond A. *Handbook of microalgal mass culture*. 1986. CRC Press, Inc.
- [23] Doucha, J., Livansky, K. (1995). Novel outdoor thin-layer high density microalgal culture system : productivity and operational parameters. *Algol. Stud. (Trebon)* 76, 129-147.
- [24] Torzillo, G., Pushparaj, B., Bocci, F., Balloni, W., Matarassi, R., Florenzano, G. (1986). Production of *Spirulina* biomass in closed photobioreactors. *Biomass.* 11, 61-74.
- [25] Richmond, A. Boussiba, S., Vonshak, A., Kopel, R. (1993). A new tubular reactor for mass production of microalgae outdoor. *J. appl. Phycol.* 5, 327-332.
- [26] Lee, Y.K., Low, C.S. (1991) Effect of photobioreactor inclination on the biomass productivity of an outdoor algal culture. *Biotechnology and Bioengineering.* 38, 995-1000.
- [27] Miron, A.S., Gomez, A.C., Camacho, F.G., Grima, E.M., Chisti, Y. (1999). Comparative evaluation of compact photobioreactors for large-scale monoculture of microalgae. *J. Biotechnol.* 79, 249-270.
- [28] Hu, Q., Richmond, A. (1994). Optimizing the population density in *Isochrysis galbana* outdoors in a glass column photobioreactor. *J. appl. Phycol.* 6, 391-396.
- [29] Hu, Q., Richmond, A. (1994). Productivity and photosynthetic efficiency of *Spirulina platensis* as affected by light intensity, cell density and rate mixing in a flat plate photobioreactor. *J. appl. Phycol.* 8, 139-145.
- [30] Lee, Y-K. (2001). Microalgal mass culture systems and methods : their limitation and potential. *J. appl. Phycol.* 13, 307-315.
- [31] Ifremer, « Aquaculture » (consulté le 4 février 2010)
- [32] Tsukada, O., Kawahara, T., Miyachi, S. (1977). Mass culture of *Chlorella* in Asian countries. In : Mitsui, A., Miyachi, S., San Pietro, A., Tamura, S. (Eds), *Biological Solar Energy Conversion*. Academic Press, New York, pp. 363-365.
- [33] Borowitzka, M.A. (1999). Commercial production of microalgae : ponds, tanks, tubes and fermenters. *Journal of Biotechnology.* 70, 313-321
- [34] Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering.* 101(2), 87-96



● [Portail du monde maritime](#)



● [Portail de la phycologie](#)

6 Sources, contributeurs et licences du texte et de l'image

6.1 Texte

- **Algoculture** *Source* : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Algoculture?oldid=111767785> *Contributeurs* : Korrigan, Bob08, Sherbrooke, Captain-Haddock, Loveless, TED, Selvejp, Kyle the bot, CommonsDelinker, VolkovBot, SieBot, JLM, Hercule, HerculeBot, ZetudBot, RogueLeader, Micbot, GrouchoBot, SassoBot, RibotBOT, Asfarer, Goudron92, EpopBot, Guillmot44, EmausBot, Salsero35, ZéroBot, AntonyB-Bot, Fcarena01, Pierre Durand-Arnoux, Adbbot, Girart de Roussillon et Anonyme : 5

6.2 Images

- **Fichier:Algoculture_au_kibboutz_Ketura.JPG** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/96/Algoculture_au_kibboutz_Ketura.JPG *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Anchor.svg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/80/Anchor.svg> *Licence* : CC0 *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Aztec_spirulina.jpg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2d/Aztec_spirulina.jpg *Licence* : Public domain *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:RedAlgaeStamp.jpg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b7/RedAlgaeStamp.jpg> *Licence* : Public domain *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?

6.3 Licence du contenu

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0