

Micro-algues : les acteurs français se concertent

Thérèse Bouveret

À l'heure du débat sur la transition énergétique, une journée organisée le 3 juin dernier a rassemblé tous les acteurs de micro-algues en France : chercheurs, industriels, dirigeants de PME et investisseurs.

Franco-française, cette réunion organisée à l'initiative d'Alexandre Rojey, fondateur du think tank Idées de la fondation Tuck, et de Dominique Chauvin, animateur du groupe de réflexion sur la biomasse de ce think tank, avait bien pour objet de mettre la filière de micro-algues en ordre de bataille.

Claude Guadin, le précurseur des micro-algues depuis les années 1970, a introduit la journée en reprenant avec esprit quelques uns des thèmes de son dernier livre Histoire naturelle des micro-algues tout juste paru chez Odile Jacob (voir en fin d'article). Difficile pour les différents intervenants d'annoncer du nouveau sur un sujet qu'ils connaissent tous par excellence. Jean-Paul Cadoret, le directeur de recherche du laboratoire biologies et biotechnologies marines à l'Ifremer Nantes a dressé l'inventaire des différentes annonces de financements et de capacité de production de biocarburants aux États-Unis, en Chine, ou ailleurs, toutes plus pharamineuses les unes que les autres. Il a aussi montré que la recherche française dans le domaine des micro-algues est bien placée au niveau mondial.

Une démarche collaborative

À partir de plusieurs entrées par mots-clés sur le *Web of Science*[®], plusieurs des chercheurs présents ce jour-là étaient classés dans les 100 premiers mondiaux : Jérémy Pruvost, Pascal Jaouen, Jack Legrand du GEPEA, Jean-Philippe Steyer, Olivier Bernard de l'INRIA... « *Les verrous sont gérés par de nombreuses équipes* », a poursuivi Jean-Paul Cadoret en les énumérant : biologie, bioréacteurs et procédés, gestion des intrants, substrats, bio raffinerie (concentration de la biomasse algale qu'il faut fractionner par *cracking* pour séparer tous les composants, extraction et post-traitements), ACV. À cette occasion, il a annoncé le lancement du projet

Amical (Aquaculture microalgae en Nouvelle Calédonie) à Nouméa doté par l'État de 2 millions d'euros. Le premier laboratoire calédonien qui vise à sélectionner des espèces locales de micro-algues a été inauguré par l'Ifremer et Adecap technopole.

Il existe 75000 espèces d'algues recensées actuellement. « *Les champs d'applications sont immenses, c'est un véritable eldorado végétal* », insiste Jean-Paul Cadoret. Laura Lecurieux, chargée de mission micro-algues du Pôle Trimatec (qui organisait, deux jours plus tard, une journée micro-algues à Aix-en-Provence) a fait le point sur les investissements récents, en augmentation de par le monde.

Le point sur le programme Greenstars

Jean-Philippe Steyer, responsable de recherche de l'INRA de Narbonne et l'un des responsables de Greenstars (siège social à Meze dans l'Hérault) a présenté ce programme dont l'ambition est de créer la filière française autour de la bioraffinerie des micro-algues (de la biologie moléculaire à la génétique, en passant par la culture, le recyclage des éléments nutritifs, la valorisation). Cependant, il a annoncé que le programme était suspendu depuis février. « *Nous sommes en attente d'une décision administrative du comité de pilotage des IEED (Institut des énergies décarbonnées). Certains industriels se sont retirés du projet et il y a une négociation au niveau de l'aide apportée par l'État, celle-ci étant bien supérieure à celle apportée par le privé* », précise-t-il. « *Le programme Greenstars a été labellisé il y a plus d'un an. Depuis, nous avons passé beaucoup de temps à construire la feuille de route. Et nous sommes en attente des financements pour démarrer* », explique-t-il. Jean-Philippe Steyer a également décrit le programme ANR (Agence nationale de la recherche) Symbiose, porté par la société Naskéo Environnement, qui s'est déroulé de 2009 à 2012 au sein de son unité de recherche pour montrer la faisabilité du couplage micro-algues/méthanisation dans une optique de traitement des déchets liquides, solides et gazeux (des articles scientifiques sont parus sur des points précis). Les recherches se poursuivent sur l'Algotron, le démonstrateur mis en place pour tester les différentes applications de la méthanisation des déchets par les micro-algues afin de produire notamment du biogaz. Elles seront amplifiées dans le cadre de Greenstars. Le pôle IAR (Industrie agro-ressource) et Sofiprotéol (l'acteur financier et industriel de la filière française des huiles et protéines végétales) sont des partenaires importants de Greenstars. « *Notre LBE (Laboratoire de biologie de l'environnement) fait partie du programme européen Microalgae Bioraffinery avec l'Université de Wageningen. Début avril 2014, nous allons organiser à Montpellier le second colloque Alg'n'Chem avec la FFC (Fédération française de la chimie) pour des applications liées à la chimie verte et simultanément le se-*

cond "Young Algaeneers Symposium". Nous avons envoyé de nombreux étudiants de l'université de Montpellier lors de la première édition (du 14 au 16 juin 2012) organisée par le Bioprocess Engineering Group de l'université de Wageningen (Pays-Bas)», ajoute Jean-Philippe Steyer. En effet, les Pays-Bas sont l'un des plus redoutables concurrents de la France en ce qui concerne les appels d'offre des programmes européens Horizon 2020.

Diversité et fragilité des micro-algues

Arnaud Mueller-Feuga – ingénieur en agronomie et docteur d'état en océanographie biologique, qui après des années de recherche en biotechnologie des micro-algues au CEA a passé vingt ans à l'Ifremer à étudier les micro-algues – a souligné la diversité et la fragilité de celles-ci. « *Les algues vertes sont plus distinctes des algues rouges que des animaux auxquelles elles sont apparentées* », a-t-il observé. Parmi les 20 espèces cultivées, il y a environ 20 000 souches disponibles dans les collections, et avec un taux de réduction de 30 % à cause des redondances, cela donne un total de l'ordre de 5 000 souches. Seule une dizaine de familles est exploitée actuellement. Dans son exposé, le chercheur a souligné que certaines vivent en colonies, d'autres non, et mis en évidence la fragilité des flagelles de certaines (qui leur servent à remonter en surface). Certaines algues sont difficiles à cultiver dans des *raceways* où le brassage de l'eau mécanique traité par des roues à aube casse ces organismes fragiles. Arnaud Mueller-Feuga a mis au point, au sein de la société Microphyt en Camargue, des photobioréacteurs pour cultiver des espèces plus rares destinées à des applications pour la pharmacie ou la cosmétique. Il a réalisé un test de quinze mois avec *Neochloris oleoabundans* de la classe de Chlorophycées, qui a beaucoup de lipides et représente un intérêt pour la production de biocarburants et de molécules d'intérêt pour la cosmétique. Il a résolu toutes les difficultés, notamment celle de la fragilité cellulaire avec un écoulement sans cisaillement ni force centrifuge. Résultat : la production est de 1,5 à 2 kg de matière sèche par jour.

Il reste des verrous à lever

Puis Olivier Lépine a présenté les ampoules bleues de la couleur de la phycocyanine, un pigment que l'on trouve dans certaines cyanobactéries, dites algues bleues, au pouvoir de super-antioxydants qu'il fabrique au sein de la société Alphabiotech non loin de Saint-Nazaire. Il a résumé les marchés importants générés par des industriels : BASF, 100 millions d'euros avec les bêta-carotène, DSM, plusieurs millions d'euros avec les DHA, Algae Technology avec l'asthaxantine, Cyanotech avec notamment la spiruline. Il a aussi pointé les échecs actuels : les biocarburants sur les chaînes C14-C18, sur la zéaxanthine et la phycoérythrine, sur l'EPA, les protéines pour l'alimentation animale trop chères (avec la chlorella) ; et au sujet du *Botryococcus braunii*, mis en avant par Claude Gudin car il excrète naturellement des biokérosènes, il considère que ce n'est pas encore un produit commercial.

« *Assez peu de verrous ont été levés, mais il y a une vision qui s'est détachée* », résume Xavier Mortagne, d'IFP EN, en présentant les travaux d'Algogroup un groupe de travail qui a étudié l'intérêt des micro-algues en terme de bilan économique, énergétique et de positionnement environnemental, pour avoir un socle commun de vision partagé par l'ensemble des acteurs de la filière (aéronautique, Airbus, CEA, INRA, Sofiprotéol, Lafarge). Il en avait établi un premier bilan lors du colloque Ald'n'Chem 2011 à Montpellier. Le rapport resté secret à ce jour devrait paraître en septembre 2013. « *Les premiers résultats, estime-t-il, sont assez négatifs car il faut que les biocarburants G3 (3^e génération) soient à la hauteur des exigences environnementales de plus en plus contraignantes de la G1. Alors que la G2 passe à la phase industrielle* ». L'analyse du cycle de vie des micro-algues ainsi que le passage à des pilotes intermédiaires font partie des défis à relever.

Des conclusions assez proches de celles qui sont ressorties du premier exercice de *brain storming* à la mi-journée (en six groupes), animé par le cabinet de coaching In Principio. Il s'agissait pour chaque groupe de mettre en avant trois défis principaux pour aboutir à un *business model* rentable. La restitution finale en

a distingué cinq : améliorer la connaissance de la biologie des micro-algues, abaisser les coûts, augmenter le financement de la R&D, améliorer les efforts de réglementation et rassembler les acteurs.

De belles perspectives pour la filière

Comme l'a montré le travail de thèse de Sophie Litzler en 2011, la France est divisée en deux. D'une part, le pôle Méditerranée avec l'IEED Greenstars, l'INRA de Narbonne et le laboratoire de Villefranche-sur-Mer où se trouve l'INRIA ; de l'autre, le pôle nantais avec le GEPEA, le groupe Algosource, etc. Il y a aussi quelques industriels, comme Fermentalg à Libourne et l'amidonier Roquette Frères à Lestrem (Nord). Les forces en présence se toisaient. Marc Roquette en personne, de Roquette Frères, n'était pas le moins attentif. Il a exposé la politique de Roquette Frères, un amidonnier qui a été dès le départ orienté sur les marchés de la nutrition, de la cosmétique et de la chimie verte à partir des micro-algues (notamment avec l'Algohub). Il a décrit le modèle économique du groupe qui propose déjà toute une gamme des produits industriels à partir de micro-algues à travers sa bioraffinerie située sur le site de Lestrem, une usine chinoise à Wuhan en Chine, l'usine de production de chlorelle de Klötze en Allemagne et une *joint venture* avec Solazyme. Le groupe commercialise déjà des farines produites à partir de micro-algues et il y a toute une branche alimentation animale pour l'aquaculture, les animaux domestiques et même les chevaux. « *Le côté organoleptique des aliments était important, autant sinon plus pour les animaux que pour les hommes* », a-t-il fait remarquer. Autre industriel français, Sofiproteol, qui regroupe les producteurs d'oléagineux, s'est allié avec Fermentalg pour développer des applications par hétérotrophie, voire mixotrophie. Pierre Calleja, le directeur de cette entreprise créée en 2009, a rappelé qu'il avait lancé la culture des micro-algues lors du démarrage de la filière aquacole il y a une vingtaine d'années. À l'époque, on nourrissait les larves de poissons avec des micro-algues cultivées dans des bassins, dans le « saint de saint » des éclosiers jusqu'à ce qu'il découvre que

les japonais en produisaient en grande quantité à l'extérieur par des cultures dans le noir. Dans le cadre du programme EMEA, il s'est allié avec des industriels de l'agro-alimentaire et aussi de producteurs viticoles qui ne manquent pas dans le Bordelais pour récupérer les résidus. Sauf que les algues ont besoin de lumière pour la photosynthèse. Rafrâchissante a été la présentation de biofaçades pour des bâtiments d'habitation, de bureau ou d'industries faite par Anouk Legendre du cabinet X-TU. Un premier démonstrateur a été inauguré depuis à l'école Politech, à proximité du GEPEA de Saint-Nazaire, qui pourra tester la symbiose de la Symbio2Box (pour ces trois applications) et la culture des micro-algues destinée à la production. Le groupe Sèche Environnement porte et finance en partie le projet Symbio2, lauréat du FUI 15. Une biofaçade sera installée d'ici 2015 dans sa centrale de déchets à Nantes. Cet industriel spécialiste du traitement des déchets

(18 filiales) a défini un modèle économique innovant qui va lui permettre de récupérer le CO₂ et la chaleur des émissions gazeuses, ainsi que les polluants des eaux usées, pour cultiver des micro-algues à l'échelle industrielle et en extraire des molécules à haute valeur ajoutée pour la chimie verte.

La seconde séance de dynamique collaborative dans l'après-midi a permis de dégager sept propositions pour que la filière se constitue, dont une visant à créer un syndicat des producteurs de micro-algues. Philippe Dreno, directeur associé du cabinet Stratorg, également l'un des quatre associés du groupe Algosource, s'est porté volontaire pour animer ce groupe de travail au-delà de la journée « Transition micro-algues ». Outre la prospective sur l'utilisation des micro-algues chez GDF Suez à l'horizon 2050, la journée a été conclue par l'exposé de Sylvain Allano, directeur scientifique, sur la vision de PSA en matière d'*open innovation*. ■

Histoire naturelle des micro-algues, Claude Gudin, Éditions Odile Jacob

« Claude Gudin est un jardinier des plantes et des mots, poète des couleurs et inventeur technologique rigoureux », écrit Daniel Thomas, le président du pôle Industrie agro-ressources (IAR), dans sa préface. Il présente ce chercheur qui « dès le début des années 1990 a été l'animateur du premier réseau national "Biotechnologie des micro-algues et cyanobactéries" ».

Le récit autobiographique de Claude Gudin remonte à l'époque où la Nasa et l'Union soviétique, dans le cadre des programmes de vols spatiaux, menaient des recherches dans le domaine des micro-algues. De 1981 à 1995, le CEA Cadarache où travaillait Claude Gudin a été le lieu d'une coopération scientifique et de la diffusion d'une plateforme tubulaire qui a essaimé dans toute l'Europe, en Espagne (Almería, Séville), Allemagne, Italie (Florence), dans les pays de l'Est (Russie, Tchécoslovaquie) et en France, au sein de l'Ifremer notamment. Claude Gudin laisse la parole aux acteurs actuels français du domaine de la biotechnologie des micro-algues, venus de l'aquaculture pour la plupart, et qui se sont lancés dans la valorisation industrielle comme il le fit lui-même en 1992 avec son premier phobioréacteur breveté en créant Thallia Pharmaceu-

ticals : l'ex-directeur de recherche de l'Ifremer, Arnaud Mueller Fuega, qui a créé la société Microphyt ; celui qui lui a succédé à ce poste, Jean-Paul Cadoret qui a créé la société Algenics ; Pierre Calleja à la tête de Fermentalg où la culture des micro-algues se fait par hétérotrophie ; et Olivier Lépine qui cultive depuis 18 ans de la spiruline et d'autres souches au sein d'Alphabiotec et d'Algosources Technologies. Tous d'ardents défenseurs de « cette seconde voie possible pour l'humanité ».

La première voie étant celle qui, il y a 3,6 milliards d'années, a vu les ancêtres des micro-algues, les cyanobactéries ou algues bleues, réaliser la photolyse de l'eau grâce à la lumière pour fixer le CO₂ (et l'azote). *« Et il est possible que les micro-algues aient joué un rôle-clé dans le passage de la vie végétale à la vie animale »,* ajoute Claude Gudin qui démystifie au passage les miracles des Christ sanglants dus en fait à un pigment rouge (phycoérythrine) du *Porphyridium cruentum*, une algue rouge (rhodophycée).

En un survol rapide, le spécialiste de la photosynthèse décrit le panorama de l'alchimie des micro-algues à travers les trois voies métaboliques de synthèse (des sucres, protéines, lipides) : « La voie

lévulinique, qui conduit aux capteurs moléculaires de lumière qui sont la chlorophylle et les phycobilines ; la voie mévalonique qui donne leurs couleurs variées par lesquelles on les classe, avec les caroténoïdes ; et la voie des acides gras avec des synthèses spécifiques des micro-algues comme les acides gras polyinsaturés indispensables à notre cerveau et aux hydrocarbures renouvelables ». En horticulteur passionné, il évoque la diversité des micro-algues (mais aussi des lichens, des levures) et toutes les formes de domestication possibles par sélection naturelle, hybridation ou génomique des algues dont il s'inquiète des dérives possibles. Il trouve paradoxal de faire des biocarburants et des hydrocarbures avec des levures qui emprunteraient le génome des micro-algues. *« Pourquoi, insiste-t-il, ne pas laisser faire le Botryococcus braunii, cette microalgue qui, à partir du CO₂ et du soleil, sait fabriquer naturellement et efficacement ces hydrocarbures ? Il faut tout faire pour que des algues comme celle-là soit connues, améliorées et mises en culture en puisant dans la panoplie scientifique disponible qui est très vaste ».*