

MACROALGUES

Une biomasse incontournable

Que ce soit pour leur composition riche et variée en molécules ou pour leurs qualités environnementales, les macroalgues constituent une matière première très intéressante pour remplacer les matières premières fossiles. Des matériaux aux biostimulants, en passant par l'alimentation humaine, les possibilités sont nombreuses.

Tous les étés, c'est le même scénario. Les échouages massifs d'algues sur les plages créent des nuisances, principalement pour le tourisme mais aussi les professionnels de la conchyliculture. Sans oublier le fait que lorsque certains de ces végétaux se décomposent, tels que les ulves ou les sargasses, ils émettent du sulfure de dihydrogène (H₂S), un gaz hautement toxique. Les municipalités sont donc dans l'obligation d'éliminer ces laisses de mer, ce qui représente une perte économique. C'est notamment pourquoi les projets de recherche pour valoriser cette biomasse se multiplient. Cela ne veut pas pour autant dire que l'exploitation des algues comme matière première est nouvelle. Comme l'explique Philippe Potin, directeur de recherche à la station biologique marine de Roscoff (Finistère) : « Les macroalgues sont valorisées depuis longtemps. La

première voie de valorisation est l'alimentation humaine ». Et l'Homme consomme des algues depuis des millénaires : des fouilles archéologiques au Chili ont montré que ces végétaux faisaient partie de notre régime alimentaire depuis 14 000 ans grâce à des traces de dents dans des fragments d'algues fossilisés. « On retrouve également ce type d'informations dans la littérature asiatique et les sagas scandinaves qui montrent que les vikings emportaient des algues séchées, notamment la dulse, comme source de protéines, de fibres et de vitamines », raconte Philippe Potin.

À part l'alimentation, qui représente le tiers du marché mondial, les algues ont longtemps été exploitées en tant que matière première. L'une des plus anciennes exploitations était celle des carbonates : les algues étaient incinérées afin de concentrer des carbonates dans les cendres pour fabriquer du verre, notamment. « On a ensuite découvert qu'il y avait de l'iode dans ces cendres. On a donc bâti une industrie chimique traditionnelle – celle de l'iode – à partir des algues », rappelle Philippe Potin. Les algues ont également fait partie de la chimie verte pionnière au début du xx^e siècle. En effet, au début de la première guerre mondiale, est apparue la fermentation des algues géantes en Californie pour la production d'une quarantaine de produits chimiques, tels que l'acétone et la potasse. « Il s'agit du premier exemple



LES PROJETS DE VALORISATION DES MACROALGUES SE FONT DE PLUS EN PLUS NOMBREUX EN FRANCE ET EN EUROPE.

de bioraffinerie de biomasse végétale », détaille le directeur de recherche. Avant de poursuivre : « Mais ce qui a provoqué la principale utilisation des algues en chimie à partir du xx^e siècle, c'est la découverte des colloïdes. C'est ce qui a entraîné le développement industriel des algues dans les années 1950 et 1960 ».

Des applications dans de nombreux domaines

Aujourd'hui, le marché des colloïdes absorbe la moitié de la production mondiale d'algues, soit 15 à 18 millions de tonnes d'algues fraîches par an. Le reste de la production (moins de 20 % de la biomasse) est dirigé vers des usages industriels tels que l'agriculture, la cosmétique ou



de la «chimie bleue»



étudiée a été celle des biostimulants», explique Franck Hennequart, directeur de la recherche et de l'innovation chez Algaia. Les produits proposés par cette entreprise permettent de renforcer les plantes, et notamment le développement des bactéries dans les sols, améliorant ainsi la croissance des plantes et leur absorption des nutriments. Apprécées en alimentation humaine, les macroalgues sont de plus en plus présentes en alimentation animale, sous forme de farines ou encore de compléments alimentaires. On leur reconnaît des effets prébiotiques, anti-oxydants ou encore immunostimulants et elles sont donc valorisées dans l'alimentation des poules pondeuses, des jeunes lapins, ou dans les pierres de sels minéraux pour les bovins, ovins ou caprins. «Et depuis maintenant une quinzaine d'années, en lien avec la recherche d'alternatives pour les carburants de seconde voire de troisième génération, en marge des recherches sur la fermentation des algues pour la production d'éthanol, il

encore la chimie au sens large. Et les possibilités sont nombreuses. Les algues trouvent également différentes applications dans le secteur de l'agriculture. Les macroalgues étant traditionnellement utilisées comme fertilisants pour les cultures, la recherche de principes actifs pour la production de biostimulants semble être une des voies les plus logiques de valorisation de cette biomasse. C'est le point de vue de la société Algaia. «Lorsque l'on extrait des alginates, on n'exploite que 25 % de la biomasse, et le reste était destiné à un plan d'épandage. Et nous savions que ces coproduits étaient riches en molécules. Notre idée lors de l'acquisition du site de Cargill à Lannilis, en janvier 2017, était de mettre en place une bioraffinerie pour aller extraire d'autres actifs en parallèle des alginates. La première application que nous avons

COMMENT SE RÉPARTIT LE MARCHÉ MONDIAL DES ALGUES ?

Près de 36 millions de tonnes de macroalgues sont produites tous les ans dans le monde, dont 97,38 % proviennent d'Asie. L'Europe vient en troisième position, avec 0,8 % de la production mondiale, juste derrière les Amériques, qui produisent 1,36 % du volume total. Viennent ensuite l'Afrique (0,41 %) et l'Océanie (0,05 %). 95 % de la production mondiale proviennent d'algues cultivées, dont près du tiers est consommé en tant que légumes, sous l'impulsion notamment de l'Asie. Cependant, cette tendance

est inversée en Europe où la culture d'algues est encore balbutiante. Sur le Vieux Continent, seulement 1 % des algues est consommé en tant que légumes, quand 75 % servent à la production de colloïdes, et le reste trouve des applications dans les secteurs de l'agriculture, la cosmétique ou encore la chimie. En Europe, la production des algues se répartit majoritairement entre cinq pays, la Norvège en tête avec 0,4 % de la production mondiale (soit plus de 163 000 tonnes). Même si la France est le deuxième

producteur européen, elle ne produit que 60 000 tonnes d'algues fraîches par an, dont 99,7 % proviennent de la récolte en mer ou sur les plages. Malgré cette faible production, la France est très présente sur le marché des colloïdes, estimé à environ 1,7 milliard de dollars (1,47 M€) par an au niveau mondial. En effet, à elle seule, la France occupe 20 % de ce marché. Cependant, pour maintenir un tel niveau de production, le pays importe environ 130 000 tonnes d'algues, chaque année, depuis le Chili, les Philippines et la Tanzanie.

«Toutes les algues, quelle que soit leur couleur, possèdent des fibres qui peuvent être valorisées de différentes façons»,
Franck Hennequart (Algaia).

LES BIOPLASTIQUES SONT UNE DES VOIES DE VALORISATION POSSIBLES DES MACROALGUES.

➤ *ya eu beaucoup d'efforts de recherches sur d'autres potentiels en chimie. Que ce soit dans les matériaux biodégradables, mais aussi tout ce qui est tensioactifs»,* constate Philippe Potin.

Des variations de composition

De par leur composition, les algues représentent une matière première intéressante dans le domaine des matériaux. Des fibres cellulosiques à l'amidon en passant par les colloïdes, les algues possèdent de nombreux composants macromoléculaires qui peuvent être valorisés différemment, que ce soit selon l'application visée ou selon le groupe algal auquel appartient l'espèce. «Les algues vertes, par exemple, sont très proches des plantes terrestres. On va donc retrouver dans celles-ci beaucoup de cellulose et d'amidon. On va donc avoir la possibilité de valoriser ces fractions, comme on le ferait pour des plantes terrestres», explique Ronan Pierre, responsable du pôle innovation et produits du Centre d'études et de valorisation



© Eranova

ERANOVA CULTIVE EN BASSINS DES ALGUES RÉCOLTÉES AU PRÉALABLE SUR LES PLAGES.



© Algaia

des algues (CEVA). Ce qui explique l'intérêt croissant des sociétés du secteur de l'emballage pour les macroalgues. En effet, les sociétés sont soumises à la pression de la réglementation – qui tend à interdire les emballages en plastique – et à la demande des consommateurs, et sont donc à la recherche d'alternatives aux plastiques pétrosourcés. «Il y a des start-up dans le monde entier qui cherchent à se développer sur le créneau des matériaux biodégradables», explique Philippe Potin, directeur de recherche à la station marine de Roscoff. Il y a l'exemple de la société Eranova qui cherche à enrichir sa biomasse algale en amidon, avec comme objectif de produire des plastiques qui pourraient être compétitifs avec ceux fabriqués à partir d'amidon de maïs. «Il existe de nombreux projets autour de la production de PLA à partir d'algues, de l'acide acrylique pour la fabrication de certaines résines... Nous en sommes au stade de la recherche», détaille Philippe Potin.



Les fibres, quant à elles, seront appréciées pour leur aptitude au renfort de matériaux. « Typiquement, toutes les algues, quelle que soit leur couleur, possèdent des fibres qui peuvent être valorisées de différentes façons, dont la production de biomatériaux », pointe Franck Hennequart, (Algaia). Avant de préciser : « Cependant, les propriétés des fibres ne sont pas les mêmes selon le type d'algue. Les algues rouges et vertes possèdent des fibres moins complexes, plus linéaires. Elles ont donc une plus grande biodégradabilité que les fibres d'algues brunes qui sont plus complexes. Elles ne seront donc pas valorisées de la même façon ».

Un avantage environnemental

Cependant, malgré les récurrents phénomènes d'échouage d'algues, les volumes de biomasse disponibles pour l'exploitation restent très limités. Avec une production mondiale de 35,7 millions de tonnes, dont le tiers est destiné à l'alimentation humaine, une exploitation industrielle à très grande échelle est difficile. De ce fait, la chimie « bleue » (chimie

QUELLES SONT LES APPLICATIONS POSSIBLES EN COSMÉTIQUE ?

Si les algues sont utilisées en cosmétique, principalement pour leurs propriétés texturantes, elles regorgent de molécules actives. Elles possèdent notamment des propriétés antibactériennes et antifongiques, qui vont varier selon la « couleur » de l'algue. Les algues rouges, comme *Palmaria palmata* possèdent des propriétés fluidifiantes et tonifiantes améliorant la microcirculation cutanée et l'éclat du teint. Les algues vertes, comme *Ulva lactuca*, sont riches en magnésium et possèdent des propriétés hydratantes. Les algues

brunes, comme *Laminaria digitata*, possèdent des propriétés reminéralisantes, hydratantes, apaisantes ou encore émoullientes. C'est d'ailleurs à partir d'algues brunes, les lamineuses, que la société Lessonia a élaboré un nouvel ingrédient cosmétique pour lutter contre les signes de vieillissement de la peau, Fucoreverse. Il est composé de fucoïdane, un polysaccharide sulfaté à longue chaîne. Pour l'extraire, Lessonia exploite les coproduits des usines d'alginate de Lannilis et Landerneau (Finistère). « Un bel exemple pour l'écono-

mie circulaire des algues », selon Philippe Potin (Station biologique de Roscoff). Le fucoïdane est exploité depuis longtemps dans les domaines de l'alimentation, la santé et la beauté. Le Fucoreverse stimulerait la prolifération des fibroblastes et la synthèse du collagène. Dans une formule contenant 0,15 % de cet ingrédient, la prolifération des fibroblastes est augmentée de 35,5 %, tandis que la synthèse du collagène est plus importante de 23,7 %. Lorsque le dosage est augmenté à 1,5 %, ces stimulations passent respectivement à 51,1 % et 31,1 %.

COMMENT PEUT-ON CONCENTRER UNE MOLÉCULE DANS UNE ALGUE ?

En modifiant ses conditions de confort. C'est en tous cas ce que fait la société Eranova. « On soumet les algues à des stress abiotiques (température, salinité, écosystème transformé...), ce qui modifie leur métabolisme, et va ainsi nous permettre d'augmenter le taux d'amidon de leur organisme », explique Philippe Michon, cofondateur de la société Eranova. Avant de détailler : « Nous travaillons sur l'algue verte *Ulva lactuca*, la laitue de mer. Notre idée de base est d'utiliser des algues échouées sur les plages pour les transformer en matériaux et résines biosourcés ». En effet, l'amidon est fréquemment utilisé pour la production de résines et plastiques biosourcés, notamment celui extrait du maïs, de la canne à sucre ou de

la pomme de terre. Les fondateurs de la société ne voulant pas exploiter une biomasse pouvant entrer en concurrence avec l'alimentation, ils se sont tournés vers le monde marin. « Nous plaçons les algues récoltées dans des bassins, sur notre site de Port Saint-Louis-du-Rhône (Bouches du Rhône), où nous les soumettons à de nouvelles contraintes contrôlées. Nous partons de végétaux dont le taux d'amidon naturel est de 10 à 12 %, et nous atteignons des taux d'enrichissement compris entre 40 et 50 %, voire un peu plus », se félicite Philippe Michon. L'un des principaux intérêts de cette technologie est la productivité à l'hectare. En effet, dans les bassins d'Eranova, la productivité à l'hectare est quinze fois plus

importante que celle des cultures terrestres, et l'extraction d'amidon quatre fois plus importante. De plus, ce type de culture n'est pas soumis à la saisonnalité. « On peut ramasser des algues échouées, ou en assurer la culture et la croissance toute l'année, du moment que l'on est dans la bonne région, telle que le Sud de la France », pointe Philippe Michon. Autre avantage : il est possible d'exploiter des terrains qui sont inaptes pour l'agriculture. La société espère être en mesure, d'ici à 2024, de produire 25000 tonnes de son plastique biosourcé par an et 64000 tonnes de biomasse, contribuant ainsi à une réelle absorption de CO₂. Pour ce faire, la société exploite déjà un pilote industriel de 1,3 hectare.

OÙ EN EST-ON DE LA CULTURE DES ALGUES ?

En Europe, la culture de l'algue est très anecdotique. Sur les 287 000 tonnes produites tous les ans, seulement 3,87 % proviennent de la culture, le reste étant récolté en mer ou sur les côtes. Cependant, « les fermes d'algues se développent en France, qui a la plus grande surface de concessions autorisées en mer au niveau européen », précise Philippe Potin. Avant de détailler :

« La surface totale de ces fermes est de 450 hectares, dont 350 hectares pour une seule société ». La France produit même plus d'algues en fermes que la Norvège,

puisque les deux pays cultivent respectivement 176 et 117 tonnes par an. « L'Europe fait figure d'exception en reposant essentiellement sur la récolte d'algues sauvages et/ou sur l'import. La culture est une activité qui se pratique souvent à grande échelle, notamment en Asie, et qui est complexe », constate Ronan Pierre (CEVA). Avant de poursuivre : « Il y a des questions d'espèces cultivables sous nos latitudes, de coût de main-d'œuvre et d'installation. De plus, en France, nous avons un espace maritime très fortement exploité, que ce soit par la pêche, le fret, la conchylicul-

ture ou encore la plaisance. Il n'est donc pas toujours simple de développer de nouvelles activités sur le domaine maritime ». Certains projets étudient, en mer du Nord, la possibilité de coupler les champs d'algues avec les champs d'éoliennes dans un but d'optimisation de l'espace. Et en ce qui concerne la culture à terre, en bassins ou en marais, les projets se multiplient en Israël, au Portugal, ou encore en France avec les projets France Haliotis, Wealsea ou la ferme Marine du Douhet. Malgré cela, l'Europe est encore loin de l'Asie, dont 99,1 % de la production proviennent de la culture.

exploitant les végétaux marins) est encore loin de concurrencer la chimie verte exploitant les végétaux terrestres. « L'enjeu aujourd'hui est d'accroître les volumes d'algues produits, que ce soit pour les besoins industriels mais également pour le fait qu'aujourd'hui, nous sommes dans une situation de recherche de solutions rapides pour faire face au changement climatique. En particulier, pour limiter l'impact du CO₂ », insiste Philippe Potin. En effet, le développement de cultures d'algues permettrait de capter de grandes quantités de CO₂ et ainsi permettrait de limiter l'acidification des océans, grâce notamment à la photosynthèse qui viendrait jouer un rôle de tampon face à ce phénomène. La photosynthèse viendrait également augmenter le taux d'oxygénation des océans et améliorerait les ressources en nutriments pour les chaînes trophiques. « De nombreux projets de cultures d'algues sont en train de se développer. Par exemple, un écosystème de forêt d'algues va être déployé en Namibie sur une surface de 1 000 hectares. Cette forêt artificielle devrait être en mesure de capter une quantité de carbone équivalente à ce qui est émis par les Pays-Bas », raconte Philippe Potin. Avant de préciser : « L'un des objectifs du projet sera également de monter une bioraffinerie afin d'exploiter une partie de la biomasse pour en faire des produits à destination de l'agriculture, des matériaux... ». C'est fort du constat du potentiel économique de ces végétaux marins, ainsi que de leur potentiel climatique, que les organisateurs de la COP 26, qui se déroulera à Glasgow (Royaume-Uni), ont prévu un chapitre complet au sujet de la séquestration du carbone par les macroalgues. La France devrait être active lors de ce sommet, grâce notamment à la Safe Seaweed Coalition, pilotée par la station biologique de Roscoff. ■

FRANÇOISE DE VAUGELAS

QUELS TYPES DE MATÉRIAUX PEUT-ON PRODUIRE À PARTIR D'ALGUES ?

Les matériaux fibreux semblent être prometteurs. Il s'agit de l'une des voies de valorisation étudiées par la société Algaia. Pourtant spécialisée dans la transformation des algues brunes pour l'extraction de colloïdes, cette société participe aujourd'hui au projet Varech initié par la région Normandie, il y a deux ans. Cette région connaît un phénomène d'échouage d'algues récurrent et continu. Il n'est pas le résultat d'une prolifération soudaine mais de la houle qui arrache les algues se développant sur les platiers rocheux au large des plages normandes. « Ces phénomènes d'échouage consti-

tuent une véritable nuisance pour tout ce qui est tourisme, conchyliculture ainsi que la plaisance », explique Franck Hennequart, directeur de la recherche et de l'innovation chez Algaia. Cette société travaille en collaboration avec le groupe Boréa de l'université de Caen (Calvados) pour exploiter les laisses de mer. Pendant que Boréa étudie l'implication des courants dans ces échouages et leur nature, Algaia en étudie leur composition. « Pour pouvoir valoriser une biomasse, il faut savoir ce qu'il y a dedans. C'est pourquoi nous travaillons sur la nature des échouages et leur composition. Est-ce qu'il y a des éléments récurrents ?

Qu'est-ce qui peut être valorisé ou pas ? », précise Franck Hennequart. Et il semblerait que les algues soient une ressource intéressante. En effet, la société a constaté que lors de l'extraction des alginates, elle n'exploitait que 25 % de la biomasse, et que les coproduits étaient notamment riches en fibres qui permettraient de fabriquer des biostimulants ou des biomatériaux. « À côté de cela, on fait également des pansements et autres dispositifs médicaux avec des fibres d'alginates de calcium. Elles présentent l'avantage d'être assez solides et de favoriser la cicatrisation », raconte Franck Hennequart.