



Aix*Marseille
université
Initiative d'excellence

DOSSIER DE PRESSE



Microalgues

DE LA RECHERCHE A L'INDUSTRIE

CEA-CADARACHE / 31.01.2020

SOMMAIRE

Les microalgues : un outil de la transition énergétique et écologique.....	4
Étudier, comprendre et sélectionner les microalgues	7
HelioBiotec.....	7
Total, un acteur majeur de la recherche et développement dans les microalgues	12
Transférer les technologies vers les industriels.....	13
Le futur de la Cité des énergies.....	18

Les microalgues : un outil de la transition énergétique et écologique

Aux biocarburants* première et deuxième générations qui proposaient biodiesel, bioéthanol ou carburant de synthèse, succède désormais la troisième génération de carburant issue des microalgues. Pour rendre économiquement viable ce mode de production de biocarburant, la recherche fondamentale doit relever plusieurs défis :

- comprendre les mécanismes moléculaires ;
- optimiser les capacités de production de lipides par les microalgues.

En parallèle, les équipes de recherche appliquée et d'innovation industrielle conçoivent, montent et testent des méthodes et lignes de production, permettant d'évaluer les différents leviers technologiques nécessaires à une production répondant aux besoins d'usage de la société, et aux besoins de rentabilité économiques pour les acteurs industriels.

Ces deux axes nécessaires au développement des biocarburants de 3^e génération sont conduits au CEA. En effet, la R&D (recherche et développement) pour cette nouvelle génération de biocarburant s'inscrit dans un projet stratégique et scientifique du CEA. En son sein, les équipes de l'Institut de biosciences et de biotechnologies d'Aix-Marseille (Biam¹) et celles de la direction de la recherche technologique, ont pour objectif, respectivement, de produire une recherche d'excellence et d'accompagner des entreprises dans leurs projets industriels.

En somme, il s'agit d'exploiter la biodiversité des microalgues et leur physiologie pour optimiser la production de biomolécules (lipides, pigments, carbohydrates, hydrocarbures) précurseurs de biocarburants et les processus de production associés (systèmes de culture, procédés d'extraction...).

* Le carburant obtenu à partir de végétaux (céréales, canne à sucre, bois...) est appelé biocarburant, bien qu'il soit souvent mélangé à des carburants d'origine fossile, tels que le pétrole ou le gaz.

Il existe trois générations de biocarburants :

- ceux de la 1^{re} génération sont réalisés à partir d'huiles végétales, comme le diester, mélangé au diesel, et par fermentation de sucres, comme le bioéthanol, mélangé au super ;
- la 2^e génération repose sur la transformation de ressources lignocellulosiques (bois, paille) en carburants liquides obtenus par recombinaison de gaz de synthèse ou par fermentation via des procédés enzymatiques ou microbiens ;
- enfin, les biocarburants de 3^e génération sont élaborés à partir de déchets ou de micro-organismes photosynthétiques, comme les microalgues ou les cyanobactéries.

¹ dont l'orientation stratégique pour la période 2018-2022 s'intitule « *Green solutions for tomorrow* ».

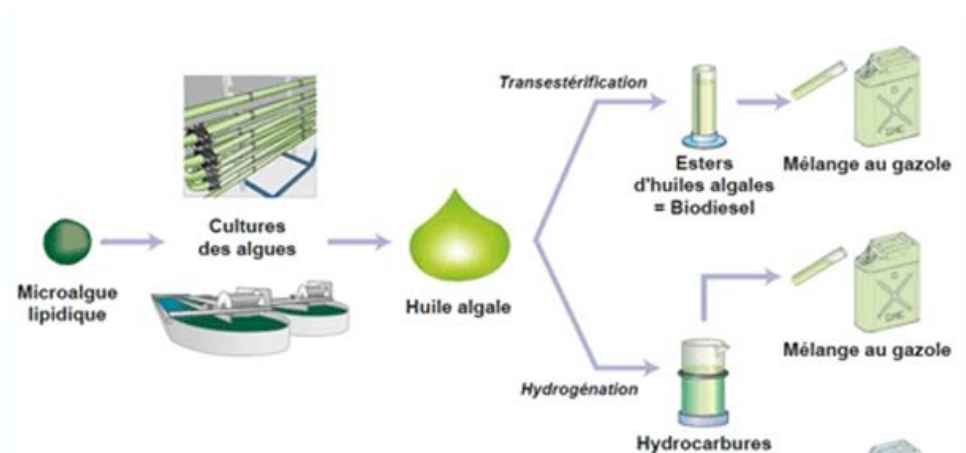
CONTEXTE

Comparées aux plantes de grandes cultures utilisées pour l'élaboration des biocarburants de 1^{re} génération, les microalgues présentent de nombreux avantages, comme une productivité surfacique élevée, ou encore la capacité à être produites sur des terres non utilisables pour l'agriculture, évitant ainsi la compétition avec la filière alimentaire.

Grâce à la photosynthèse, les microalgues fabriquent naturellement des molécules à forte teneur énergétique utilisables pour la production de biocarburants, tout en se nourrissant du CO₂ atmosphérique comme source de carbone. Les microalgues ont donc le potentiel de répondre à deux besoins sociétaux majeurs : la **fermeture du cycle du carbone** et la **production d'énergie renouvelable respectueuse de l'environnement**.

ENJEUX

Pour exploiter au mieux ces microalgues, il est nécessaire d'améliorer en amont leurs capacités biologiques via une sélection et optimisation des souches, tout en développant en aval les procédés de culture, de récolte et d'extraction. Le défi biotechnologique majeur est de domestiquer les souches de microalgues pour accroître leur productivité tout en diminuant les coûts de production afin d'atteindre une rentabilité économique de production d'énergie. Les progrès récents de la génomique, de la génétique, de la lipidomique, des procédés et technologies de culture, développés notamment par les équipes du CEA et du CNRS, nous apportent aujourd'hui les outils et les compétences nécessaires pour progresser dans l'atteinte de ces enjeux.



OBJECTIFS

Au Biam, l'objectif principal consiste à étudier les mécanismes moléculaires impliqués dans la conversion de l'énergie solaire et du CO₂ atmosphérique en composés riches en énergie tels que les lipides, l'hydrogène et les hydrocarbures. Le Biam évalue les limites moléculaires de ces mécanismes et propose des stratégies innovantes basées sur l'amélioration des performances des microalgues par évolution dirigée ou par biologie de synthèse.



Fait marquant

Débloquer un verrou de la photobioproduction d'hydrogène

En présence de lumière, la photosynthèse produit de l'oxygène ainsi que l'énergie nécessaire aux plantes pour vivre. Chez les algues, cette énergie peut servir à photo-produire de l'hydrogène via une enzyme nommée hydrogénase.

Cette enzyme est inhibée irréversiblement par l'oxygène produit par la photosynthèse, ce qui limite grandement les applications biotechnologiques. A l'aube, la lumière solaire active la photosynthèse : hydrogène et oxygène sont produits simultanément pendant plusieurs minutes jusqu'à ce que l'oxygène inhibe l'hydrogénase. Pour protéger l'hydrogénase et donc poursuivre la production d'hydrogène, favoriser les mécanismes cellulaires de consommation d'oxygène semblait prometteur.

Les chercheurs du Biam, en collaboration avec des chercheurs de l'Université de la Ruhr (Bochum, Allemagne) ont découvert que certaines protéines (les flavodiiron) pouvaient consommer l'oxygène lors de la photo-production d'hydrogène. En bloquant ce système par mutation génétique, la production d'hydrogène par la microalgue s'est avérée être accrue de près de 30 %. Contrairement à ce que l'on pensait, ce mécanisme entre donc en compétition avec la production d'hydrogène et ne protège pas l'hydrogénase. Au vu de ces travaux, c'est tout un paradigme qui est modifié : les mécanismes de consommation d'oxygène qui étaient vus comme des alliés incontestés de la production d'hydrogène s'avèrent avoir un rôle plus ambigu, car ils monopolisent une partie des ressources de la photosynthèse.

Cette étude montre que l'équilibre entre la consommation de l'oxygène photosynthétique et la production d'hydrogène est la pierre angulaire de la photo-production d'hydrogène de demain. Les chercheurs français et allemands poursuivent leur collaboration sur l'étude des stratégies de protection de l'hydrogénase contre l'oxygène.

Références : *Flavodiiron-Mediated O₂ Photoreduction Links H₂ Production with CO₂ Fixation during the Anaerobic Induction of Photosynthesis.* Adrien Burlacot, Anne Sawyer, Stéphan Cuiné, Pascaline Auroy-Tarrago, Stéphanie Blangy, Thomas Happe, Gilles Peltier. Published August 2018. DOI : <https://doi.org/10.1104/pp.18.00721>

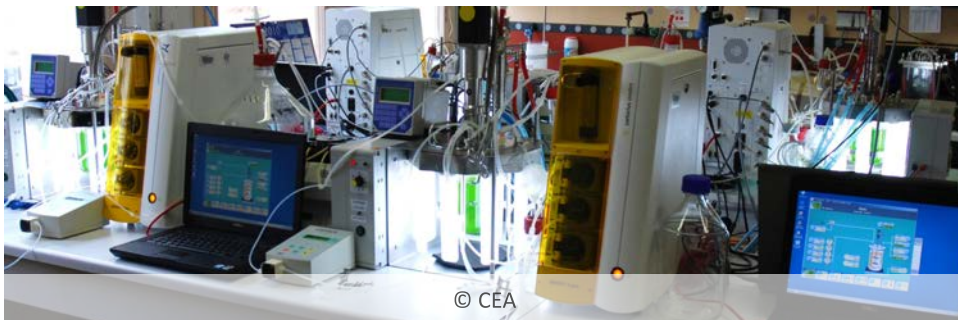
Étudier, comprendre et sélectionner les microalgues

Depuis janvier 2019, le Biam regroupe 8 équipes et 5 plateformes technologiques. Elles ont un but commun : améliorer la compréhension des processus bioénergétiques des microalgues ainsi que leurs mécanismes de réponse à leur environnement direct, en vue de proposer des solutions énergétiques et environnementales pour un développement durable. Parmi les plateformes de cet institut, la plateforme HélioBiotec se concentre sur l'étude des biocarburants de 3^e génération.

HélioBiotec

HélioBiotec a été initiée en 2008 pour explorer le potentiel des microalgues dans la production de biocarburants de 3^e génération.

En dix ans, l'attractivité, la visibilité et la dynamique créées par HélioBiotec ont permis à la petite équipe de 7 personnes à l'initiative du projet de tripler ses effectifs puisqu'elle compte aujourd'hui plus de vingt personnes : douze personnels permanents (CEA et CNRS) et une dizaine de personnes non-permanents (thésards, post-docs ou CDD).



HélioBiotec s'est fixé comme objectif la production de biodiesel et d'hydrogène, mais aussi des objectifs intermédiaires de production de molécules à haute valeur ajoutée telles que les compléments alimentaires (oméga 3, caroténoïdes, etc.).

Des équipements de pointe permettant le criblage à haut-débit de souches de microalgues (enceintes de cultures, robot de repiquage, cytomètres en flux, imagerie de fluorescence...), la caractérisation de leur productivité (parc de photobioréacteurs instrumentés, analyse des gaz en ligne) ou de leurs caractéristiques biochimiques et physiologiques (microscopie en fluorescence, analyses biochimiques et biophysiques) ont été acquis. Un effort particulier a été fourni sur le développement de la lipidomique, les lipides représentant une cible de choix pour des applications dans les domaines des biocarburants, ou pour ceux de la nutrition et de la nutraceutique.

HélioBiotec a été financée à hauteur de 2 millions d'euros par un Contrat de projet État-Région (CPER). Dès sa création, la plateforme a eu pour vocation d'accompagner au plus près des projets de recherches partenariaux, financés notamment par l'ANR (Agence nationale de la Recherche), et l'Europe (FP7, H2020). De nombreuses collaborations ont été nouées, notamment au niveau régional (BIP (CNRS/AMU), IMM Marseille

(CNRS/AMU), INRIA et INRA Sophia Antipolis, CEREGE (Inrae/CNRS/AMU/Collège de France, IRD...), national (GEPEA Saint-Nazaire, IBPC Paris, Université de Lille, INSA Toulouse...), et international (Allemagne, Suède, Canada, Chine, Japon...).

Fait marquant

Microalgues et climat : attention aux rejets de N₂O !

Les chercheurs du Biam ont découvert une nouvelle voie métabolique de production d'oxyde nitreux (N₂O) par les microalgues, publiée dans PNAS le 15 janvier 2020. Ce puissant gaz à effet de serre est produit par certaines espèces de microalgues lors de la photosynthèse. Ce travail montre d'une part la nécessité de prendre en compte les écosystèmes aquatiques dans les simulations climatiques, et d'autre part l'intérêt d'étudier l'ensemble du « cycle de vie » des souches de microalgues candidates pour une filière de biocarburants de 3^e génération.

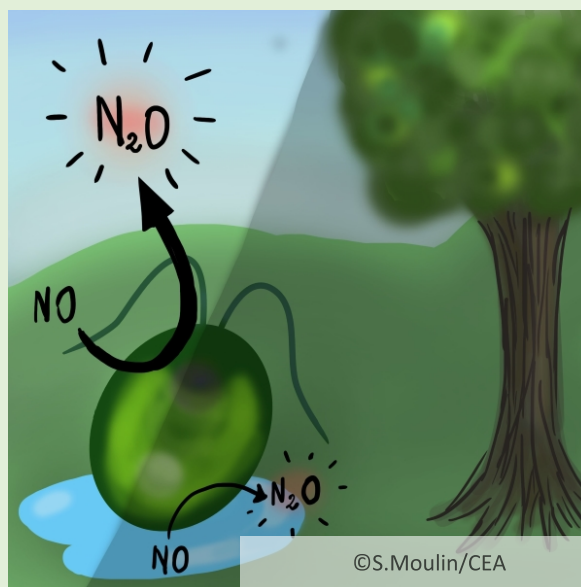
La composition gazeuse de l'atmosphère terrestre joue un rôle crucial dans l'évolution du climat. L'oxyde nitreux (N₂O), bien que présent en moindre quantité que le CO₂, a un potentiel d'effet de serre 300 fois supérieur à celui du CO₂. Certaines algues contribuent significativement à la production de N₂O, notamment lors de la réduction des nitrates (NO₃⁻), sans que les mécanismes moléculaires soient connus.

Une équipe du Biam vient de découvrir un acteur majeur de la production de N₂O chez les microalgues. En étudiant la réduction de l'oxyde d'azote (NO) en N₂O chez l'algue modèle *Chlamydomonas reinhardtii*, les chercheurs ont découvert que la photosynthèse était responsable d'une production de N₂O six fois plus rapide à la lumière qu'à l'obscurité. L'étude d'une algue mutante dépourvue d'une protéine nommée « flavodiiron », a permis d'établir le rôle de cette protéine dans la production de N₂O à la lumière, ainsi que le rôle d'une autre protéine, appelée « cytochrome p450 », responsable de cette production à l'obscurité.

Les chercheurs ont montré que les deux mécanismes sont présents chez les microalgues vertes, mais absents chez d'autres espèces comme les diatomées. L'abondance des algues vertes dans les lacs et les zones côtières, écosystèmes qui subissent des rejets massifs de nitrates produits par les activités humaines, suggère que la production de N₂O par les microalgues pourrait avoir été grandement sous-estimée dans les études environnementales et climatiques.

Cette étude permet également d'orienter l'exploitation industrielle future des microalgues pour la production de biocarburants de 3^e génération vers un choix d'espèces les moins impactantes pour le climat.

Ce travail a récemment été primé lors du congrès international de biophysique de la photosynthèse qui s'est tenu à Rome les 2, 3 et 4 octobre derniers.



Références : *Algal photosynthesis converts nitric oxide into nitrous oxide. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* Adrien Burlacot, Pierre Richaud, Arthur Gosset, Yonghua Li-Beisson, Gilles Peltier. National Academy of Sciences, 2020, pp.201915276. [10.1073/pnas.1915276117](https://doi.org/10.1073/pnas.1915276117)[hal-02441886](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02441886)

QUELLE EST L'ACTIVITÉ D'HELIOBIOTEC ?

La plateforme Héliobiotec est une plateforme de recherche fondamentale, membre de l'Infrastructure de recherche Biologie et Santé (IBISBA) qui a pour mission de traduire des résultats de recherche en outils et procédés pour l'industrie.

Objectifs d'HelioBiotec :

1/ identifier des gènes impliqués dans l'accumulation des molécules d'intérêt des microalgues (huiles, hydrogène, compléments alimentaires, etc...), afin de reprogrammer leur métabolisme pour une production optimale de ces composés de référence, le tout grâce à une banque de microalgues créée au laboratoire ;

2/ explorer la biodiversité : pour en sélectionner des souches d'intérêt, les recherches s'appuient sur les collections de microalgues sauvages du monde entier. Les travaux portent notamment sur la microalgue modèle, *Chlamydomonas reinhardtii*.

Méthodes utilisées par HelioBiotec

Les méthodes utilisées par HelioBiotec reposent sur deux approches :

- > un criblage au haut débit de micro-organismes, pour caractériser le contenu en lipides de microalgues ;
- > l'optimisation des conditions de culture (apports en nutriments / CO₂ / lumière) pour orienter le métabolisme vers la synthèse de molécules d'intérêt ;
- > l'analyse des constituants de la biomasse produite ;
- > l'interaction avec les équipes de la plateforme bioprocédés et microalgues de la direction de la recherche technologique du CEA, pour développer les cultures à grande échelle, dans le cadre de la Cité des énergies.

Équipements d'HelioBiotec

La plateforme dispose de bioréacteurs pilotés par ordinateur qui permettent une culture continue grâce au contrôle de nombreux paramètres (température, pH, vitesse d'agitation, débit de gaz, intensité lumineuse) et l'apport de nutriments. La plateforme est également équipée de plusieurs appareils permettant la séparation et l'analyse quantitative et qualitative des composés lipidiques.

QUELS PARTENAIRES POUR HELIOBIOTEC ?

HélioBiotec a accompagné dès sa création des projets industriels.

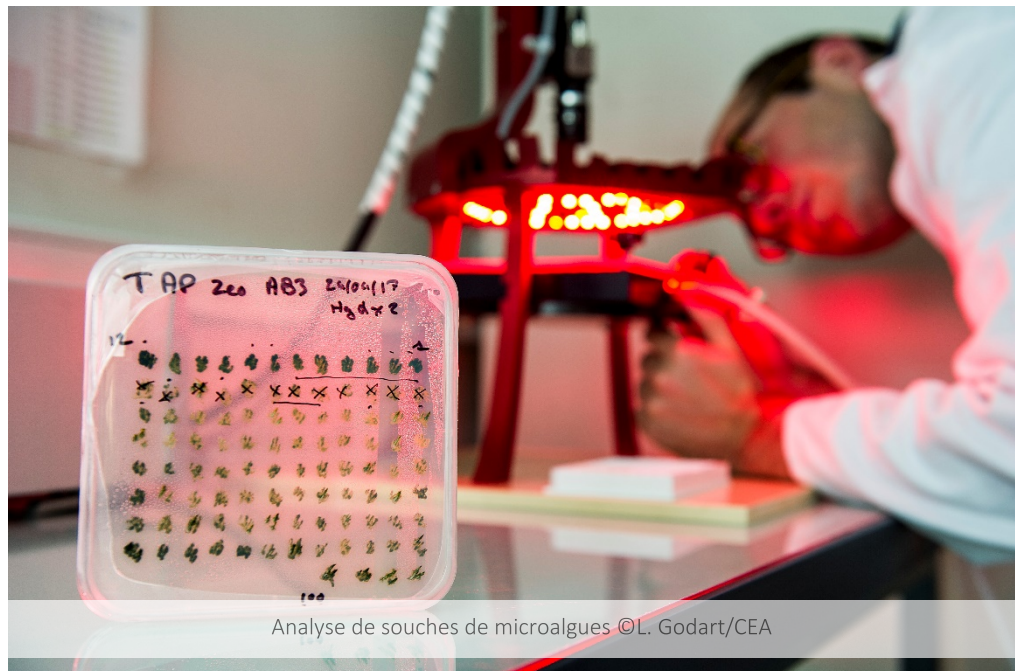


La start-up **Fermentalg**, spécialisée dans la production des microalgues par voie mixotrophique, a fait l'objet d'un contrat de collaboration qui lui a permis de renforcer les bases scientifiques de son projet et de lever des fonds d'amorçage.

Mais aussi...



Au niveau régional, HélioBiotec articule ses activités de recherche avec celles de la plateforme bioprocédés et microalgues et de l'Institut de Microbiologie de la méditerranée (CNRS/AMU) Marseille. Au niveau national, HélioBiotec développe des projets intégrés avec les plateformes Algosolis (CNRS/Université de Nantes) pour le développement de procédés et du Genoscope (génomique des microalgues). Au niveau européen, HélioBiotec est intégrée dans un réseau de plateformes de microbiologie industrielle (réseau IBISBA).



Irig et Joliot

Des recherches complémentaires

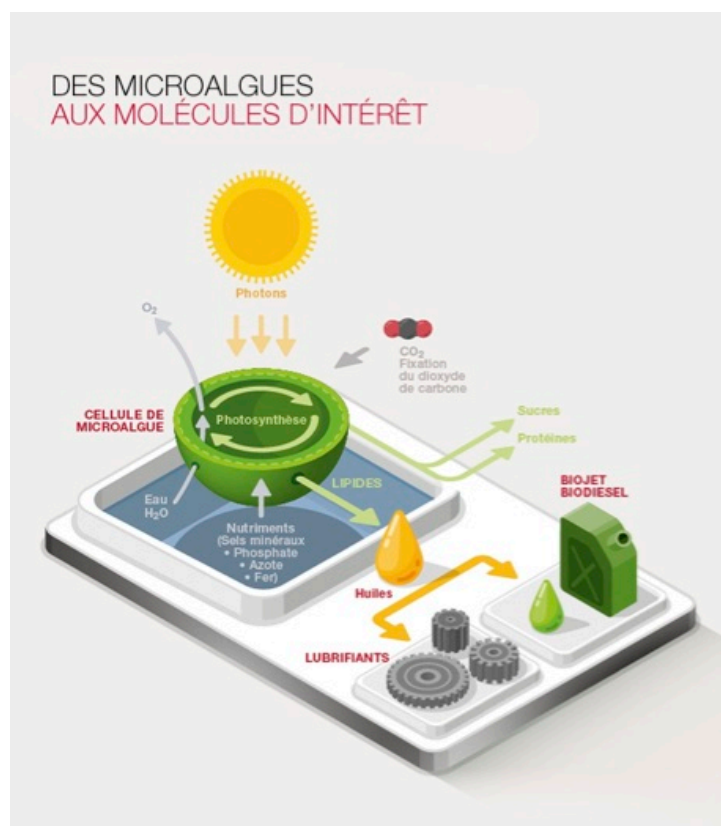
Le centre CEA de Grenoble abrite également des équipes étudiant les microalgues et leurs intérêts pour de multiples applications, en particulier les bioénergies, en partenariat avec des industriels. Au Laboratoire de physiologie cellulaire et végétale (CEA / CNRS / Université Grenoble-Alpes/INRAE) de l'institut Irig, les scientifiques étudient les mécanismes moléculaires à l'œuvre dans les différents compartiments cellulaires pour mieux comprendre la capture et conversion de l'énergie lumineuse par la photosynthèse, et comment les microalgues produisent des composés énergétiquement denses, en particulier des lipides. La production de lipides, et plus généralement de biomasse, est intéressante dans l'optique d'utiliser les microalgues pour capter et valoriser le CO₂.

Ces travaux mobilisent une trentaine de scientifiques, chercheurs, ingénieurs, techniciens et étudiants, et sont menés en lien avec ceux de Cadarache et illustrant l'investissement du CEA et de ses partenaires sur l'intérêt des microalgues. Les résultats font l'objet de publications scientifiques régulières et d'échanges avec le monde industriel.

D'autres équipes encore, basées au CEA Paris Saclay, à l'Institut des sciences du vivant Frédéric Joliot, contribuent également aux travaux menés sur les microalgues comme sources d'énergie, via deux grandes approches : par une approche multidisciplinaire, les équipes analysent le métabolisme et les réponses aux stress des cyanobactéries (les organismes photosynthétiques les plus abondants de notre planète), afin d'utiliser les cyanobactéries pour la production durable de bio-carburants, et la bio-détection de polluants métalliques ; selon une seconde approche, centrée sur la photocatalyse, les équipes s'intéressent à des systèmes, biologiques ou bio-inspirés, qui utilisent l'énergie d'un photon pour effectuer une réaction chimique.

Un acteur majeur de la recherche et développement dans les microalgues

Total explore toutes les technologies de production qui permettraient de valoriser de nouvelles matières premières durables pour produire des biocarburants et des bioplastiques. C'est pourquoi leurs équipes, avec celles du CEA, ont conçu un programme commun de recherche afin d'accélérer les travaux sur la sélection et l'optimisation des souches de microalgues.



Leurs recherches visent à sélectionner des souches robustes et à forte teneur en lipides. Une fois choisies, ces dernières sont optimisées afin de pouvoir être utilisées à l'échelle industrielle.

Avec le CEA, les recherches, qui associent les équipes de Total à celles du CEA, sont menées au Laboratoire de Physiologie cellulaire & végétale (PCV) à Grenoble, à l'institut Biam (laboratoire EBM) et l'institut CTREG tous deux basés à Cadarache.

À ces travaux en France s'ajoute notamment une collaboration au Qatar avec *Qatar University* pour sélectionner des souches locales et améliorer leur potentiel, et en Chine avec le *Qingdao Institute of Bioenergy and Bioprocess Technology (QIBEBT)*, qui a pour objectif d'identifier des enzymes performantes permettant la production de biocarburants et de produits pour la chimie.

Les équipes de Total travaillent en parallèle à l'amélioration des conditions de production et de la récolte des microalgues en bassins ouverts, et au développement de nouvelles méthodes de cultures performantes dans des photobioréacteurs.

« Total produit des biocarburants depuis plus de 20 ans et a investi près de 500 millions d'euros dans la recherche et le développement de biocarburants avancés. Nous nous sommes intéressés aux microalgues dès le début de la décennie et elles constituent aujourd'hui un axe prioritaire de notre recherche », François loos, directeur Biofuels, Total.

Transférer les technologies vers les industriels

Plateforme de bioprocédés et microalgues

Le gouvernement a confié au CEA la mission de déployer en régions son modèle de diffusion technologique au service de l'industrie française, notamment des PME et ETI, en s'appuyant sur le pôle « recherche technologique », organisé autour de trois instituts technologiques thématiques (Leti, Liten et List) basés à Grenoble et Saclay et également sur les plateformes de proximité telle que celle sur les bioprocédés et microalgues.

L'équipe dédiée à la plateforme de bioprocédés et microalgues est venue compléter le spectre d'activités et de compétences déjà présentes à Cadarache sur les micro-organismes photosynthétiques, en ciblant la problématique du développement de procédés innovants adaptés aux souches d'algues et aux marchés d'applications.

La plateforme prépare et fiabilise la production industrielle des microalgues : elle réalise la définition et la preuve de concept des procédés et travaille aux premiers prototypes de produits, en lien étroit avec des partenaires industriels. Elle mobilise son savoir-faire pour diverses applications existantes ou à venir des microalgues :

- Biocarburants
- Cosmétiques
- Compléments alimentaires
- Alimentation animale
- Chimie du végétal et biomatériaux
- Traitement de l'eau ou de fumées polluées.

Avec une aide initiale de trois millions d'euros d'investissements, attribuée par le Conseil régional PACA, la Communauté des Pays d'Aix, les Conseils départementaux 13 et 04, le FEDER et des fonds privés, la plateforme est née en septembre 2014. Depuis, l'équipe est constituée de 8 ingénieurs-chercheurs, une technicienne de laboratoire et un étudiant en thèse. Chaque année sont accueillis entre 3 et 4 stagiaires de longue durée (5 - 6 mois) de niveau fin de cycle ingénieur - Master 2.

Au niveau matériel, la plateforme se déploie aujourd'hui sur 2 laboratoires, un atelier et une serre pilote. Elle compte 14 photobioréacteurs de différentes tailles (de 1 à 1000 litres), des systèmes de récolte et de prétraitement de la biomasse algale, des moyens de fractionnement et d'analyse physico-chimique.

Devant l'accroissement de son activité de projets de R&D, la plateforme rentre dans une seconde phase d'investissements sur la période 2020-2023, avec le doublement de la surface de la serre pilote et l'acquisition de nouveaux équipements dédiés aux thématiques en croissance (chimie du végétal, biomatériaux, bioremédiation d'effluents liquides ou gazeux).

QUELS OBJECTIFS POUR LA PLATEFORME ?

Le contexte mondial tend vers l'intensification du développement de la bioéconomie circulaire. Les microalgues représentent un potentiel de biomasse sans équivalent pour la fabrication de produits alimentaires, d'intermédiaires chimiques renouvelables et de biocarburants, dans un cercle vertueux où le CO₂ est un intrant de premier ordre. Pour répondre à ces enjeux, le CEA a donc mis en place une plateforme de R&D dédiée à l'étude des bioprocédés de production de biomasses de 3^e génération (algues et cyanobactéries photosynthétiques).

Un des objectifs de cette plateforme est de réaliser du transfert d'innovation vers les entreprises productrices de microalgues, dont la grande majorité est située dans les régions du Sud de l'Europe (PACA, Occitanie, mais aussi Espagne, Portugal, Italie, Maghreb).

Elle joue aussi un rôle d'interface envers les entreprises utilisatrices de microalgues, dans une logique de développement de filière, et envers les laboratoires académiques, dans une logique de finalisation et de transfert des connaissances et des résultats de la recherche fondamentale vers la recherche industrielle.

Objectifs

- développement de procédés et technologies pour la production efficace de biomasse algale, tous domaines d'applications
- Conception de schémas de bioraffinage
- réalisation de prototypes
- Etudes technico-économiques

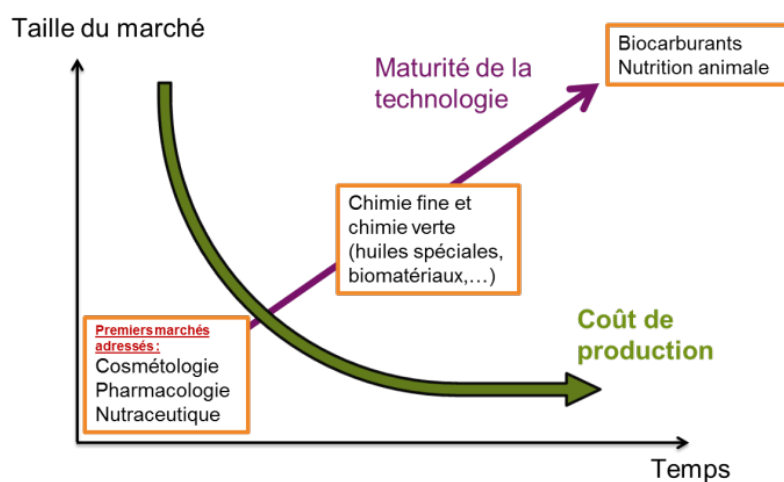


Figure 1: Objectifs et feuille de route de la plateforme bioprocédés et microalgues

QUELLE POSITIONNEMENT POUR LA PLATEFORME SELON LES SECTEURS DE MARCHÉS ?

Les marchés de petit volume et à haute valeur ajoutée (cosmétiques, compléments alimentaires) sont un point de départ. Ils correspondent à la réalité industrielle et commerciale d'aujourd'hui pour les microalgues. Cependant, de grandes promesses d'application se situent aussi dans des secteurs émergents. Par exemple, les développements de la bioéconomie circulaire et de la bioraffinerie vers la chimie

biosourcée répondent à des attentes stratégiques fortes pour l'évolution de l'industrie européenne. Ces secteurs constituent aussi un levier intéressant pour atteindre des niveaux de production (coûts et quantités) compatibles avec le marché des biocarburants. Des synergies innovantes sont par ailleurs à développer entre différentes activités industrielles dans un contexte de bioéconomie circulaire : couplage de services à l'environnement et de la production de biomasse algale (capture et utilisation de gaz à effets de serre, traitement d'effluents aqueux) ; intégration d'énergies renouvelables dans les procédés.

- **Au niveau mondial**

Le marché des microalgues comporte plusieurs axes commerciaux. Le premier marché (à 74%) est celui de l'alimentation humaine, principalement en tant que complément alimentaire à visée nutrition-santé et bien-être. Le second marché (avec 25%) est représenté par l'alimentation animale où les algues y sont fournies séchées ou vivantes (Différents types d'algues : *Nitzschia*, *Skeletonema*). Enfin, le dernier axe commercial (avec 1%) est représenté par des molécules à haute valeur ajoutée utilisées pour la chimie ou la cosmétique.

Il n'existe pas encore de production commerciale de biocarburants à partir des microalgues.

- **Au niveau national**

Aujourd'hui, la filière des microalgues françaises est une actrice importante au niveau européen puisqu'elle couvre toute la chaîne de valeur à savoir la recherche et le développement publique et privée, les équipementiers, les producteurs, la transformation et la formulation et les marques et réseaux de distribution. La plupart des producteurs sont situés dans le Sud-Est de la France (PACA et Occitanie). Cette situation géographique, liée à l'ensoleillement et aux conditions climatiques, est propice à la production en conditions naturelles. La France est la première actrice de la recherche dans le domaine des microalgues avec des acteurs comme le CNRS (1^{er} organisme de recherche avec 200 publications et/ou brevets) et le CEA (avec ses plateformes technologiques). La France se situe comme étant au 1^{er} rang des publications et 4^e rang pour les brevets.

- **Au niveau régional**

En 1981, le premier photobioréacteur tubulaire européen fut conçu au CEA de Cadarache. Le Biam est acteur au niveau de la recherche fondamentale, avec notamment la découverte récente d'une enzyme algale impliquée dans la synthèse d'hydrocarbures : la Fatty Acid Photodecarboxylase (FAP). Ensuite, la plateforme « preuve de concept » de procédés de production industrielle de micro-algues de la direction de la recherche technologique (DRT) entre en jeu. Ce qui permet aux deux acteurs d'être présents sur toute la chaîne de valeur, d'une production de laboratoire (Biam) à une production semi-industrielle de l'ordre de 1 000 litres, contenant de 3 à 30 kilos de micro-algues (plateforme DRT).



Photobioréacteur à panneaux de taille pilote pour la culture de microalgues. ©L. Godart/CEA

QUELS PARTENAIRES POUR LA PLATEFORME ?

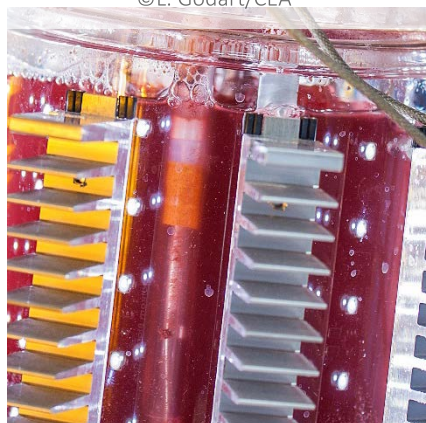
La plateforme bioprocédés et microalgues est fortement associée à la dynamique territoriale impulsée pour la conversion du bassin de la zone industrialo-portuaire d'Aix Marseille Métropole, au travers de sa participation à des projets collaboratifs emblématiques comme Vasco2 et le Futur pôle d'excellence en bioindustries de Fos/Berre/Lavéra/La Mède. Ces initiatives à l'échelle de la démonstration industrielle, menées avec les industriels de la zone (Total, Lyondell-Basell, Kem One, Veolia...) et des start-ups, constituent un potentiel de projection inégalé pour les pilotes de Cadarache. La plateforme a également pour partenaires privés de nombreuses entreprises, aussi bien grands groupes que PME ou TPE. Elle a déposé des brevets sur des techniques d'extraction et des séchoirs solaires pour microalgues.

Depuis sa création en 2013 et son démarrage effectif mi-2014, la plateforme est progressivement montée en charge, avec une exploitation tout à la fois dans le cadre de projets bilatéraux avec des entreprises, et aussi des projets collaboratifs co-financés par l'Europe, l'ADEME et l'ANR. En moyenne, une douzaine de projets de recherche sont actifs sur la plateforme. Cinq ans après son démarrage effectif, la plateforme bioprocédés et microalgues s'est inscrite avec succès dans l'écosystème académique et industriel de la filière microalgues. Les thématiques de recherche appliquée qui s'y sont développées sont conformes à la feuille de route initiale. Elles peuvent être regroupées en 5 axes qui seront poursuivis sur les prochaines années :



Photobioréacteur à plaques pilote pour la culture de microalgues.

©L. Godart/CEA



> **biomasses à haute valeur ajoutée**, contenant des molécules bioactives intéressant les secteurs des cosmétiques et de la nutrition santé : ce secteur, mature au niveau industriel, est source de projets bilatéraux court-moyen terme avec des entreprises comme MICROPHYT ;

> **chimie verte biosourcée** : bioplastiques, huiles de spécialités. Ce secteur est aujourd'hui en pleine expansion, en phase avec les schémas de bioéconomie et de chimie du végétal. Il génère de grands projets en partenariat public-privé comme le projet européen H2020-BBI ABACUS ou le projet ALGUEX, supporté par le Programme Investissements d'Avenir.

> **bioremédiation d'effluents liquides et/ou gazeux** (capture et utilisation de CO₂) : ce secteur est aujourd'hui en pleine expansion, en phase avec les schémas d'économie circulaire et les problématiques liées au changement global (réchauffement climatique, eutrophisation).

> **nutrition animale** : ce secteur est aujourd'hui en forte expansion, du fait d'une demande croissante des marchés de l'élevage, en particulier aquacole.

> **bioénergie (biocarburants)** : toujours d'actualité dans les projets de R&D, ce secteur a fortement souffert de la baisse des cours du pétrole. Les grands enjeux sur le changement climatique liés aux gaz à effet de serre



justifient cependant le maintien d'une activité de veille et des projets à long-terme sur cette thématique, aussi bien académiques qu'industriels. Cependant, le temps estimé d'accès au marché s'est rallongé ces dernières années. Dans le contexte économique et géostratégique actuel, les perspectives de transfert vers l'industrie demeurent encore incertaines.

Le futur de la Cité des énergies

Le CEA Cadarache est internationalement reconnu dans le domaine de la recherche et du développement sur les énergies bas carbone.



C'est pour amplifier ces missions qu'est né le projet « Cité des énergies », issu de la capitalisation de compétences en R&D sur les énergies alternatives développées à Cadarache depuis les années 1970 (plateforme expérimentale solaire ; activités sur la photosynthèse et ses applications énergétiques) et de la volonté du CEA de se tourner vers le soutien aux entreprises. Il s'agit d'un projet phare pour le CEA, dans sa composante de recherche fondamentale et technologique.

Les enjeux du projet « Cité des énergies » sont à la fois stratégiques, scientifiques, économiques dans le domaine des biotechnologies, du solaire et de l'hydrogène pour l'énergie et l'environnement. Ainsi, ce projet contribuera à améliorer la compétitivité des entreprises locales et le développement de ces filières industrielles par un rapprochement entre recherche fondamentale de niveau international et recherche appliquée, orientée vers le marché. Cet enjeu s'inscrit dans l'objectif ambitieux fixé au CEA par le gouvernement de travailler à la réindustrialisation du pays par le biais de l'innovation, mais aussi dans la Stratégie Régionale de l'Innovation (SRI) portée par la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur :

- > au sein du Domaine d'Activité Stratégique (DAS) « Transition énergétique - Efficacité énergétique » ;
- > en contribuant au développement de la technologie générique clef (KET's) Biotechnologies.

Pour agréger un maximum de compétences de R&D et grâce aux terrains mis à disposition par le CEA, c'est la zone semi-ouverte du Centre de Cadarache, appelée « Cité des énergies » qui a été choisie pour construire le nouveau bâtiment de R&D du Biam, à proximité de la plateforme de bioprocédés et microalgues.



© C. Forestier

Programme du voyage de presse

Merci de vous munir de votre carte d'identité ou passeport en cours de validité

7h20 Paris Gare de Lyon

Rendez-vous Départ TGV 7h37 – Arrivée en gare d'Aix-Marseille à 10h47 puis navette jusqu'au CEA Cadarache

11h45 Centre CEA-Cadarache

Arrivée accueil et formalités d'entrée

12 h Bâtiment 101, salle Cézanne

Buffet d'accueil

Mot de la direction du Centre et introduction sur les recherches sur les microalgues

Présentation des intervenants de la journée :

- Jacques Vayron, Directeur du centre
- David Pignol, Directeur du Biam
- Juliette Imbach, Responsable de l'implantation régionale Sud de la recherche technologique du CEA
- François loos, Directeur, Biofuels Division, Total

14 h Visite de la plateforme HelioBiotec

14 h 45 Visite de la plateforme bioprocédés et microalgues

15 h 30 De l'amont à l'aval : l'approche de la Cité des énergies

15 h 45 Départ navette pour gare TGV Aix-Marseille

Départ du TGV à 17h14 – Arrivée à Paris Gare de Lyon à 20h23

CONTACTS

Manon COLONNA D'ISTRIA

✉ manon.colonna@cea.fr

☎ +33 6.89.30.26.74

🐦 @CEA_Officiel

Tuline LAESER

✉ tuline.laeser@cea.fr

☎ +33 6.12.04.40.22

Relations Médias

✉ presse@total.com

☎ +33 1.47.44.46.99

🐦 @TotalPress

