

#1 Spécial microalgues

Juillet 2019

UNIVERSITY

BUSINESS

*Le magazine
Business de
l'Université de Nantes
à destination
des entreprises*



- Dossier à retrouver en intégralité en ligne sur unnews.univ-nantes.fr
Textes, photos, vidéos

Une partie de l'équipe d'AlgoSolis dans leur laboratoire de Saint-Nazaire



Sommaire

p.3

- > À Saint-Nazaire, le GEPEA révèle l'immense potentiel des microalgues

p.6

- > Maître-mot : l'intégration
- > L'obsession du changement d'échelle

p.9

- > Des microalgues en biofaçades
- > De l'assiette à la conquête spatiale

p.4

- > Un acteur de rang mondial

p.7

- > Fédérer les initiatives
- > Productivités exceptionnelles

p.10

- > AlgoSolis voit grand

p.5

- > Piège à CO₂ terrestre
- > Double objectif scientifique

p.8

- > AlgoSource mise sur la spiruline

p.11

- > Transitions et usines du futur

À Saint-Nazaire, le GEPEA révèle l'immense potentiel des microalgues

Habitué de longue date à allier recherche scientifique de pointe et partenariats université/entreprise, le laboratoire GEPEA (Génie des procédés, environnement, agroalimentaire) figure parmi les spécialistes mondiaux des microalgues.

Ces micro-organismes encore peu connus apportent des réponses précises aux enjeux actuels des transitions écologique, alimentaire et énergétique. Les travaux des chercheurs nazairiens de l'Université de Nantes et du CNRS intéressent de nombreux marchés.

Tour d'horizon d'un secteur en ébullition à fort potentiel économique qui attire l'attention des investisseurs.

Textes : Pascal Jaouen, professeur à Polytech Nantes et directeur honoraire du GEPEA avec Xavier Debontride, journaliste

Quel est le point commun entre une route, un vol habité dans l'espace, une façade d'immeuble, un complément alimentaire ?

Chacun peut - ou pourra dans un avenir proche - intégrer des microalgues dans sa réalisation. C'est ce que s'emploient à démontrer, avec succès, des chercheurs de l'Université de Nantes. À Saint-Nazaire, ils travaillent depuis plus de trente ans au sein du laboratoire GEPEA (Génie des procédés, environnement, agroalimentaire) sur la valorisation des microalgues. La dénomination du labo fait référence à un concept bien précis : le génie des procédés et des bioprocédés regroupe en effet l'ensemble des technologies et méthodes scientifiques qui permet de transformer une matière première en un produit fini à fonction d'usage.

Pour passer de la ressource au produit, la démarche du génie des procédés développe des modèles à différentes échelles, de la cellule au procédé global. Lors des opérations de transformation de la matière, les étapes sont optimisées une à une jusqu'au niveau industriel, les optimisations pouvant être de natures variées : énergétique, économique, environnementale, sociale... Cette science d'intégration nécessite donc l'assimilation de connaissances et de concepts issus de plusieurs disciplines (physique, chimie, biologie...) afin que les modélisations s'approchent au mieux de la réalité physique. Il en résulte des modèles de plus en plus fins et complexes et de nombreux allers-retours entre la recherche et le développement industriel sont nécessaires avant d'atteindre un résultat satisfaisant.



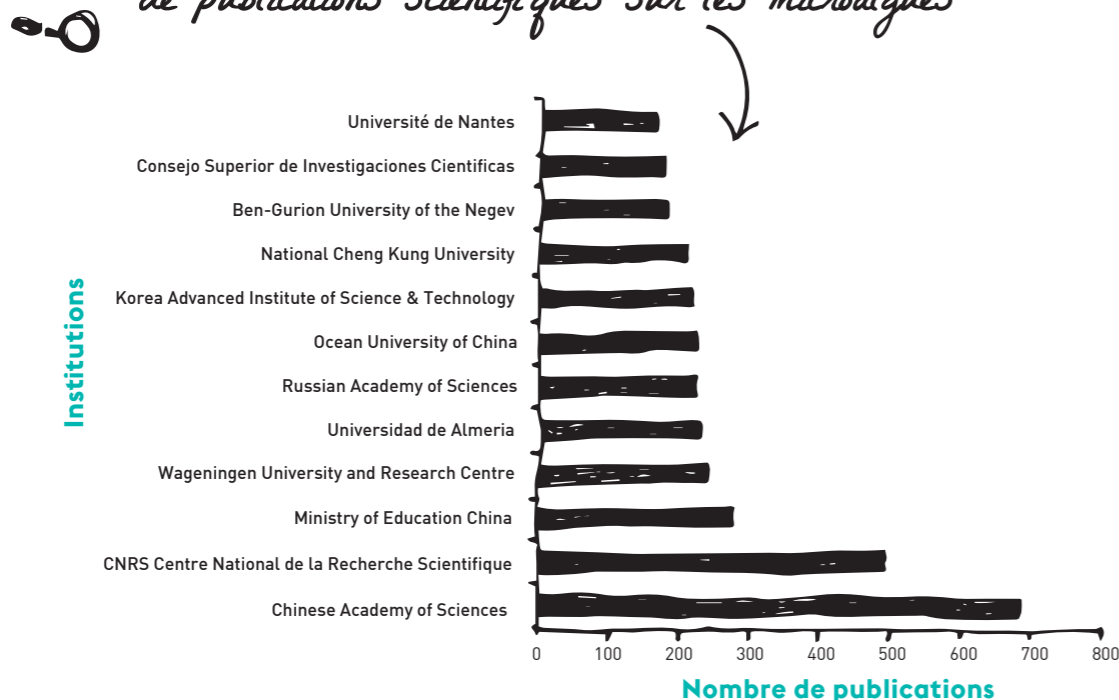
Un acteur de rang mondial

En s'intéressant notamment aux procédés de valorisation des microalgues, le GEPEA a acquis un positionnement scientifique original qui le place aujourd'hui comme l'un des tout premiers acteurs du domaine tant au niveau européen que mondial, sur une filière en croissance et à fort potentiel. En témoigne le récent classement international réalisé par la revue scientifique de référence, Algal Research, qui positionne respectivement le CNRS et l'Université de Nantes (GEPEA et ses partenaires de l'Institut Universitaire Mer et Littoral FR-CNRS-3473, et en

particulier le laboratoire MMS) en 2^e et 12^e positions de la recherche mondiale sur les microalgues.

Un palmarès établi sur la base du nombre de publications de référence sur la période 1970-2017 (voir graphique). Selon ce même classement, la recherche française se classe à la 4^e place derrière les États-Unis, la Chine et l'Espagne. D'autres centres mondiaux de recherche sur les microalgues, avec qui le GEPEA collabore, se situent aux Pays-Bas (Wageningen), en Israël, au Japon, en Australie, en Italie, et plus récemment au Qatar...

Top 12 des institutions par leur nombre de publications scientifiques sur les microalgues



Microalgae research wordwild, Algal Research 35 (2018) 50-60
by J.A. Garrido-Cardenas, F. Manzano-Agugliaro, F.G. Acien-Fernandez & E. Molina-Grima

Piège   CO₂ terrestre

  ce stade, une définition s'impose, car contrairement à leurs grandes cousines que l'on retrouve échouées sur les plages de nos rivages, les microalgues sont invisibles à l' il nu: il s'agit de micro-organismes photosynthétiques, ce qui signifie qu'ils ont besoin de lumière pour se développer. Les microalgues constituent le premier maillon de la chaîne alimentaire en milieu aquatique: elles contiennent des protéines, des lipides et des glucides, ainsi que des pigments et autres molécules d'intérêt. Dans les océans, elles consomment plus de 30% du CO₂ terrestre, ce qui en fait un formidable piège de gaz à effet de serre. Elles s'inscrivent ainsi dans un cercle vertueux, tout à fait compatible avec l'écologie industrielle et territoriale.



DÉFINITION

 cologie industrielle, qu'esaco ?

Selon la définition communément admise, l'écologie industrielle et territoriale (EIT) consiste à interconnecter des activités industrielles entre elles pour que les effluents et externalités des unes servent de ressource valorisable à d'autres. Elle permet de produire davantage dans un meilleur respect de l'environnement. Cette pratique récente du management environnemental vise ainsi à limiter les impacts de l'industrie sur l'environnement.   l'heure où il est beaucoup question de développer l'économie circulaire, pour économiser les ressources, cette approche systémique répond directement à une attente sociétale majeure.

  noter également que les cyanobactéries, très proches des microalgues, sont à l'origine des ressources de pétrole, à l'issue d'une longue sédimentation sous-marine.   l'origine de leur croissance, se trouve la photosynthèse, en utilisant la lumière. Pour produire de la biomasse algale, il faut en effet une source de carbone, de l'azote et du phosphore, des éléments minéraux, de l'eau et de la lumière (qui apporte les photons). Cette photosynthèse conduit à la production de biomasse et d'oxygène. Et cette croissance est particulièrement rapide: ces micro-organismes unicellulaires se divisent toutes les 12 à 24 heures.

Double objectif scientifique

Pour réaliser ses recherches et ses expériences, le GEPEA est structuré scientifiquement par le développement du génie des procédés appliqué aux deux grands domaines des bioressources et des  cotechnologies, qui adressent de nombreuses questions industrielles et sociétales. Les objectifs scientifiques de l'Unité sont de deux ordres. Ils visent, d'une part, à développer les aspects méthodologiques - réaction/séparation/écoulements/transferts - du génie des procédés et d'autre part, à créer des interfaces avec la physique, la biologie, la biochimie et la chimie pour traiter des problématiques liées à l'agroalimentaire, à l'énergie, à l'environnement et à la valorisation des produits et substances d'origine marine.

Ce laboratoire, placé sous la tutelle de l'Université de Nantes, du CNRS, de l'Institut Mines Telecom Atlantique et d'Oniris, regroupe actuellement 230 personnes, réunies en cinq équipes scientifiques, sur trois sites: Saint-Nazaire où se situe la direction du laboratoire, Nantes, qui abrite les deux-tiers des personnels, et la Roche-sur-Yon.

C'est au milieu des années 1980 que les équipes du GEPEA ont commencé à développer la recherche dans ce domaine, à la frontière des sciences physique, chimique et biologique.   l'époque, ces pionniers avancaient un peu en dehors des sentiers battus, car ils commencaient à appliquer des concepts d'ingénieur et des méthodes du génie chimique (la production contrôlée, le raffinage-extraction, le transport de fluides, la modélisation, le changement d'échelle)   des cellules biologiques!

« Nous sommes très attachés à la dynamique qui peut résulter des fortes interactions entre recherche/formation/innovations/entreprises. C'est sur cette idée du continuum que nous avons construit notre dynamique de développement sur les trois dernières décennies. C'est un peu notre marque de fabrique ! », souligne Pascal Jaouen, directeur honoraire du laboratoire, fondé dans sa configuration actuelle par le professeur Jack Legrand, et dirigé aujourd'hui par Jérémy Pruvost.

Le choix de Nantes Saint-Nazaire pour développer cette démarche ne relève évidemment pas du hasard. C'est une terre d'ingénierie, tournée vers la mer, qui affiche une remarquable concentration d'acteurs de haut niveau : laboratoires de recherche, IUT et École d'ingénieurs Polytech', master international, formation doctorale, plateforme de recherche et développement, entreprises, structures d'accompagnement de l'innovation (Atlanpôle, Pôles de compétitivité Mer Bretagne Atlantique et Valorial)... Quant aux responsables politiques locaux et régionaux, ils ont su, malgré les alternances, accompagner cette dynamique et cette structuration sur le temps long avec responsabilité, intelligence et confiance.

Maître-mot : l'intégration

Actuellement, une bonne quarantaine de chercheurs nazairiens en ingénierie se sont spécialisés dans ce domaine spécifique, dont une vingtaine de doctorants en résidence permanente au sein du laboratoire. Ils disposent aujourd'hui des compétences et des outils leur permettant de développer une recherche à l'interface des notions fondamentales du génie des procédés (réacteurs, phénomènes de transferts, contrôle) et des disciplines issues des sciences du vivant (microbiologie, physiologie, génie métabolique). Maître-mot de cette démarche scientifique : l'intégration, de la souche à la molécule cible, ce qui implique de maîtriser la réaction biologique, la culture en photobioréacteurs dédiés, le bioraffinage de la biomasse récoltée et le recyclage des effluents.

Dans les salles du laboratoire GEPEA, à Saint-Nazaire, les bacs des photobioréacteurs diffusent une douce lumière verte, rose ou orangée, selon les espèces cultivées. Il existe en effet différentes collections de souches de microalgues qui permettent de mener des expériences selon le type et les propriétés recherchées. Les différentes couleurs correspondent à l'espèce et à la nature des pigments lors de la photosynthèse.



Les chercheurs procèdent à des suivis réguliers de ces « bouillons de culture » à l'aide d'équipements informatiques de pointe dédiés à l'acquisition de données (paramètres de culture, conditions météo etc.). La plupart de ces matériels de laboratoire, semblables à ceux que l'on trouve dans la biochimie ou de la pharmacie industrielle, notamment des appareils dernier cri de chromatographie, arborent le logo de l'Union européenne : ils ont en effet été cofinancés par des fonds européens, via les fonds FEDER qui interviennent jusqu'à 25% du prix total des machines.

L'obsession du changement d'échelle

Grâce à ces équipements, les cellules peuvent être « stressées » et leurs réactions liées à leur plasticité métabolique sont étudiées en temps réel : c'est ce que l'on appelle le forçage physiologique. On peut ainsi croiser au détour d'une salle des algues oléagineuses, plutôt grassouillettes, qui produisent de l'huile aux vertus très intéressantes ! Les nombreuses données enregistrées lors de ces expériences, en flux continu 24h/24, sont ensuite analysées, comparées et modélisées. Avec, pour les équipes du GEPEA, l'obsession du changement d'échelle, le fameux scaling-up.

« L'objectif, en ce qui concerne les microalgues, c'est de passer du stade de laboratoire à l'industrie, et pour cela nous menons de nombreuses recherches partenariales dans le domaine de l'ingénierie », expliquent Pascal Jaouen et Jérémy Pruvost. Et de citer par exemple les contrats avec accords de confidentialité pour les sociétés Imunrise (biostimulants plantes), GLS et Algaia (traitement des eaux en utilisant les microalgues), Suez, Arkema, GRDF, Séché Environnement, Neovia, Subitec (D), IPStar (NL), Engie, Total, un contrat avec Sara (Société Anonyme de la Raffinerie des Antilles) pour la production de biocarburants à partir de microalgues, ou encore un contrat de fixation de CO₂ des fumées de cimenteries avec Vicat.

Fédérer les initiatives

À cette liste non exhaustive des multiples collaborations avec les entreprises, il convient également d'ajouter plusieurs programmes partenariaux dont le GEPEA (ou sa plateforme AlgoSolis) est partie prenante. Ainsi, le programme Polysalgue vise à produire des polysaccharides à partir de microalgues. Financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR), il est coordonné par l'Institut Pascal de l'Université d'Auvergne, en collaboration avec les équipes du CNRS Roscoff et le programme de recherche scientifique de la goélette Tara expéditions.

Au Qatar, des recherches financées par la Qatar University sont menées avec le GEPEA en vue d'optimiser la production de microalgues en conditions désertiques extrêmes. Objectif de l'émirat : renforcer son autonomie, dans tous les domaines, notamment alimentaire.

Le programme Algoroute, comme son nom l'indique, consiste quant à lui à réaliser du biobitume à partir de résidus de microalgues, susceptibles d'être valorisés sous forme de liant. Algoroute bénéficie d'un financement de la Région des Pays de la Loire, en partenariat avec le CEISAM, le GEPEA, l'IFFSTAR et la société AlgoSource. Cette technologie fait désormais l'objet d'un dépôt de brevet.

Afin de fédérer toutes ces initiatives, un Pôle Microalgues en Pays de la Loire a été créé. Baptisé Atlantic Microalgae (AMI), et principalement cofinancé par la région il réunit les laboratoires GEPEA, MMS (Université de Nantes, Le Mans Université) et l'Ifremer.



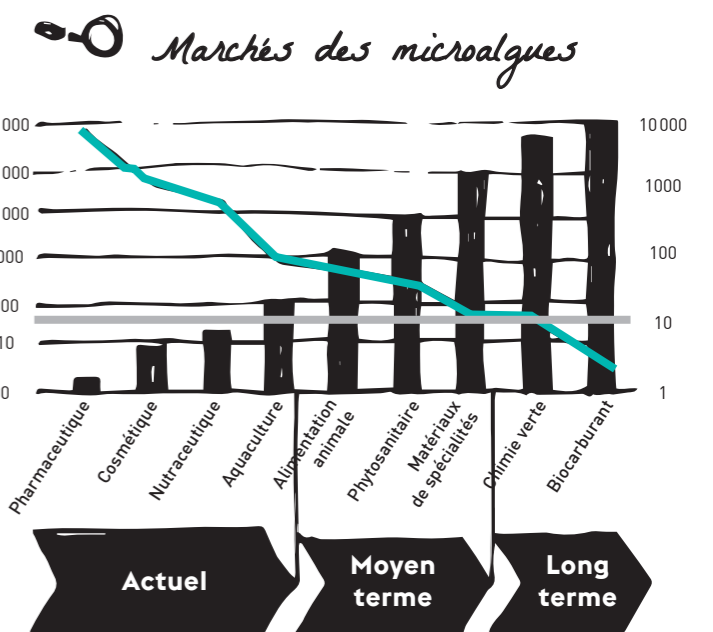
Biobitume à partir de résidus de microalgues



Productivités exceptionnelles

« Nous sommes au début d'une grande aventure : au milieu des années 80, nous avons commencé à nous intéresser aux bioprocédés pour les microalgues en aquaculture (avec le Smidap, l'Ifremer et le laboratoire MMS), puis ensuite pour les compléments nutritionnels, les cosmétiques, les biocarburants de 3^e génération... Nous sommes convaincus que ces micro-organismes ont un immense potentiel et peuvent contribuer à répondre aux défis démographiques mondiaux », souligne Pascal Jaouen. Par rapport aux autres plantes cultivées, les microalgues affichent en effet des productivités trois à dix fois supérieures en termes de rendement à l'hectare. Autrement dit, cela signifie qu'avec elles, on peut produire autant sur des surfaces trois à dix fois plus petites... sans recours aux pesticides et en consommant très peu d'eau. Le tout, sans aucune compétition avec les terres agricoles!

Le champ d'investigation est particulièrement vaste : les scientifiques estiment qu'il existe entre 100.000 et 1 million d'espèces de microalgues. À peine une vingtaine est actuellement utilisée à des fins commerciales, et trois ou quatre seulement ont acquis le statut de « star », à l'instar de la spiruline, assurément la plus connue du grand public. À noter que le GEPEA ne travaille que sur les microalgues valorisables non toxiques (il ne s'intéresse donc pas celles qui défraient la chronique lors des fermetures temporaires de plages, ou à l'origine d'interdiction de consommation de coquillages l'été).





AlgoSource mise sur la spiruline

AlgoSource Technologies est née il y a dix ans dans les murs du CRTT à proximité directe du GEPEA. La start-up a été créée pour développer des procédés de valorisation de différentes microalgues, notamment la spiruline sous forme de complément alimentaire aux propriétés antioxydantes reconnues.

Aujourd'hui devenue PME, AlgoSource continue à collaborer avec l'écosystème universitaire et d'innovation régional (avec le GEPEA, Biofortis et le programme AMI notamment). La PME vient d'annoncer début 2019 une levée de fonds de 1,1 million d'euros auprès de trois fonds d'investissement régionaux (Litto Invest, Pays de la Loire Participations et Pays de la Loire Développement). Ce montant s'ajoute au million déjà levé courant 2018 auprès d'autres investisseurs privés. Objectif d'Olivier Lépine, son directeur général et de ses équipes : financer un programme d'investissement de 4 millions d'euros sur cinq ans permettant d'«accroître les capacités de production de la société et accompagner la croissance des ventes d'ingrédients santé issus des microalgues, notamment à destination des industriels.»

Sa marque-phare, Spirulyzat®, est déjà diffusée dans quelques 500 points de vente en France. AlgoSource, qui dispose de trois sites à Saint-Nazaire, jouxtant les locaux du GEPEA et à Guérande et Assérac, emploie actuellement vingt salariés pour un chiffre d'affaires de 1,8 million d'euros en 2018. Avec l'ambition de porter celui-ci à 10 millions d'euros dans cinq ans.



CHIFFRES CLÉS

Les microalgues consomment plus de **30%** du CO₂ terrestre

Il existe entre **100 000 & 1M** d'espèces de microalgues. Près d'une **20aine** seulement utilisées à des fins commerciales

Des productivités **3 à 10 fois supérieures** de rendement à l'hectare par rapport aux autres plantes cultivées.

Des microalgues en biofaçades

Les microalgues connaissent également des débouchés plus inattendus, dans le domaine du bâtiment par exemple. Le GEPEA travaille ainsi à la mise au point de biofaçades, en lien étroit avec le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) et l'agence d'architectes X-TU. L'idée est séduisante: il s'agit d'utiliser les surfaces ensoleillées des bâtiments pour cultiver des microalgues dans des parois vitrées (des photobioréacteurs en façade), qui contribuent du même coup à l'isolation thermique de l'immeuble. Reste toutefois à surmonter de nombreux obstacles techniques, liés à la tenue dans le temps du procédé, à son entretien, à son acceptabilité par les habitants, etc.

Un démonstrateur constitué de 200 m² de photobioréacteurs est installé depuis 2016 sur une façade du CSTB à Champs-sur-Marne et ses performances sont suivies de près avant d'envisager un possible déploiement du procédé à plus grande échelle.

Des expérimentations similaires sont menées à quelques centaines de mètres du siège nazairien du GEPEA, sur la plateforme AlgoSolis UMS-CNRS 3722. Inauguré en juillet 2015, cet outil unique en Europe a nécessité un investissement régional (collectivités territoriales) de près de 5 millions d'euros (dont plus d'un million dans le cadre du Contrat de plan État-Région).

AlgoSolis, opérée au quotidien par l'Université de Nantes et sa filiale Capacités SAS, préfigure l'exploitation contrôlée, intensifiée et durable de la ressource microalgale à grande échelle. Cette plateforme publique de recherche permet ainsi de faire le lien entre la recherche académique et l'industrie.

De l'assiette à la conquête spatiale

Et après? Les recherches menées par les chercheurs du GEPEA s'inscrivent dans la longue durée, mais les débouchés industriels des microalgues commencent à se matérialiser.

À court terme, les marchés les plus matures se retrouvent dans le domaine des cosmétiques, des compléments alimentaires, de l'alimentation, de la nutrition animale...

À moyen terme, les microalgues seront incontournables pour le soin des plantes, la chimie verte, les biomatériaux, les biofaçades de nos immeubles écoresponsables. Avec les microalgues, notamment, l'écologie industrielle apportera ainsi des réponses concrètes aux problématiques liées à la transition énergétique.

Enfin, à plus long terme, les recherches menées par les chercheurs et ingénieurs du GEPEA pourraient nous faire voyager très loin: les futurs voyages spatiaux vers Mars, par exemple, dans l'hypothèse d'une colonisation humaine de la planète rouge et/ou de la Lune, pourraient en effet utiliser les propriétés des microalgues pour réaliser les boucles de support de vie dans l'espace, c'est-à-dire le recyclage des effluents et de l'air lors des vols habités de longue durée.

Le GEPEA collabore régulièrement depuis 2002 avec l'Agence spatiale européenne et son consortium MELiSSA, dans le domaine du couplage entre le photobioréacteur et la récolte des microalgues, de la production de molécules à forte valeur ajoutée pour application en santé, sans oublier l'organisation de congrès et colloques, la collaboration aux niveaux doctoral et master, etc.



Transitions et usines du futur

Tous ces exemples montrent que la recherche s'inscrit à long terme et que les champs d'applications sont particulièrement vastes: s'il est impropre de parler d'une entreprise d'écologie industrielle, stricto sensu, en revanche, toutes les entreprises classiques sont concernées par cette nouvelle approche, au carrefour de nombreuses problématiques essentielles. C'est tout l'enjeu des programmes du GEPEA, qui demain seront davantage encore reliés aux sciences humaines et sociales, à la réglementation, aux questions d'acceptabilité sociale pour les nouveaux usages et produits, au partage des risques et des bénéfices (nouveaux modèles économiques). Des enjeux essentiels qui placent ces recherches au cœur de la réflexion sur les transitions à venir. Ce sujet fait clairement partie des axes d'excellence identifiés dans le projet d'I-Site NExT. Ce label, obtenu dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir porté par l'État, a confirmé en 2018 l'ambition portée par l'Université de Nantes, Centrale Nantes, le CHU de Nantes et l'INSERM.

Transitions et usine du futur: ces thèmes seront d'ailleurs au cœur du Congrès SFGP 2019 de la Société Française de Génie des Procédés organisé par le GEPEA à la Cité des congrès de Nantes en octobre 2019. Un rendez-vous à ne pas manquer!



Rendez-vous à l'espace innovation microalgues de la Mer XXL au Grand Palais à Nantes du 29 juin au 10 juillet 2019

ALGO SOLIS
MICROALGAE R&D FACILITY

AlgoSolis voit grand

«L'offre de services d'AlgoSolis est ouverte aux industriels et académiques sous forme de prestations de services et avant tout pour la réalisation de programmes R&D collaboratifs», explique Jérémy Pruvost, directeur du GEPEA. C'est aujourd'hui l'une des plateformes les plus performantes au niveau mondial. Elle est en effet labellisée par l'EERA (European Energy Research Alliance) et par l'IBISBA (Industrial Biotechnology Innovation and Synthetic Biology Accelerator). Ses équipements sous serre, à l'air libre et en laboratoire, offrent de nombreuses possibilités d'expérimentation. Cuves rutilantes, conduites en inox et en acier, capteurs et écrans polychromes... il est prévu un aménagement du site dès 2020, pour en accroître les capacités de recherche et l'accueil de nouveaux partenaires, comme la jeune entreprise AlgoLight créée récemment avec Brochier Technologies. Avec, à terme un projet d'extension et d'accueil de nouvelles startups sur les terrains disponibles à proximité du site actuel.

Des micro-organismes aux marchés multiples:

- > Énergie
- > Matériaux
- > Chimie verte
- > Santé
- > Bâtiment
- > Cosmétique
- > Compléments alimentaires
- > Biocarburants

CONTACTS

Direction GEPEA & Algosolis
Jérémy PRUVOST Tel : 33 (0)2 40 17 26 69
Pascal JAOUEN Tel : 33 (0)2 40 17 26 14
Lucie VAN HAVER
Responsable Valorisation industrielle
AlgoSolis UMS-CNRS-3722/ Capacités SAS
Tél : 33 (0)2 40 17 26 68

www.gepea.fr

www.algosolis.com

Recherche, formation, innovation, entreprises,
c'est sur cette idée du continuum
que nous avons construit notre dynamique
de développement sur les trois dernières
décennies. C'est un peu notre marque
de fabrique!

Pascal Jaouen, directeur honoraire du laboratoire GEPEA



CONTACT

Pour toutes questions, conseils ou demandes de mises en relations ou pour collaborer avec l'Université de Nantes, contactez :

L'ESPACE ENTREPRISES
espace.entreprises@univ-nantes.fr
Tél. : 02 72 64 88 88

*Magazine réalisé par la direction
de la communication
de l'Université de Nantes
Directeur de publication: Marc Peron
Coordination éditoriale et artistique:
Christelle Bertras
Redaction: Pascal Jaouen avec Xavier
Debordière, journaliste
Maquette: Camille Deffrasnes
Photos: © Franck Tomps/ Université
de Nantes, XTM architects
Site internet: www.univ-nantes.fr*