

Les Savanturiers

15

FÉVRIER 2016

En mission avec les scientifiques du CEA

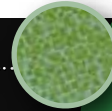


> Dans la nature

> Du bécher au photobioréacteur

> Mots croisés

p. 2-3



p. 4-5



p. 8



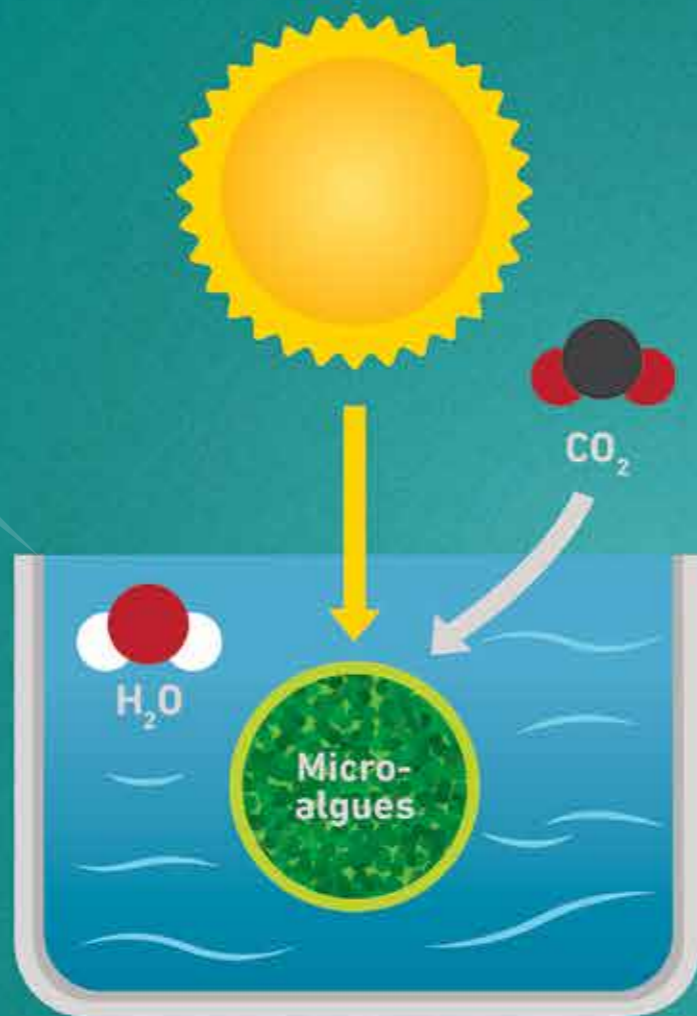
Ça roule avec les algues

Inclus dans le mix énergétique, les biocarburants s'avèrent intéressants pour limiter l'utilisation des combustibles fossiles et ainsi réduire les émissions de gaz à effet de serre. Focus sur ces algues pleines d'énergie !

Dans la nature

La photosynthèse

La photosynthèse est un processus naturel. Les molécules de chlorophylle sont contenues dans les chloroplastes de la cellule végétale, sorte de petite usine chimique qui transforme l'énergie lumineuse en carburant pour les plantes. La lumière captée par la chlorophylle permet, avec un apport d'eau, de transformer le gaz carbonique de l'air en sucre et en oxygène. C'est la photosynthèse, source de la croissance des plantes et de l'oxygène nécessaire à une grande partie de la vie terrestre. Par ce phénomène, chaque année, plantes et micro-algues utilisent l'énergie solaire pour capter et transformer 9 milliards de tonnes de carbone, contenu dans le gaz carbonique de l'atmosphère terrestre, en **biomasse**.



PHOTOSYNTHÈSE



HYDROGÈNE

BIOHYDROGÈNE

ALCANES

BIOKÉROSÈNE

AMIDON

BIOÉTHANOL

LIPIDES

BIODIESEL

MOLÉCULES D'INTÉRÊT

BIOCARBURANTS

En savoir +

L'essentiel sur
« Les biocarburants »
<http://portail.cea.fr/comprendre/Pages/energies/renouvelables/essentiel-sur-biocarburants.aspx>

LES ILES MICRO-ALGUES

Ces organismes appartiennent au règne des **protistes**, qui comprend de nombreux groupes. Les micro-algues peuvent se développer dans de l'eau de mer ou de l'eau douce. Elles produisent leur matière par photosynthèse (comme tout végétal). Certaines d'entre elles sont capables de se développer à partir de nutriments extérieurs (comme les animaux). L'utilisation de lumière et simultanément celle d'une source extérieure de carbone s'appellent la mixotrophie.

Des molécules d'intérêt

Les micro-algues ont une forte capacité à synthétiser des molécules d'intérêt : hydrogène, **alcane**, amidon et **acides gras**. Elles accumulent ces derniers sous forme de réserves en lipides (jusqu'à 60 % de leur poids sec). Celles-ci sont utilisées dans des applications telles que les biocarburants, la nutrition (oméga 3) et la chimie verte (lubrifiants...).

Une biodiversité à explorer

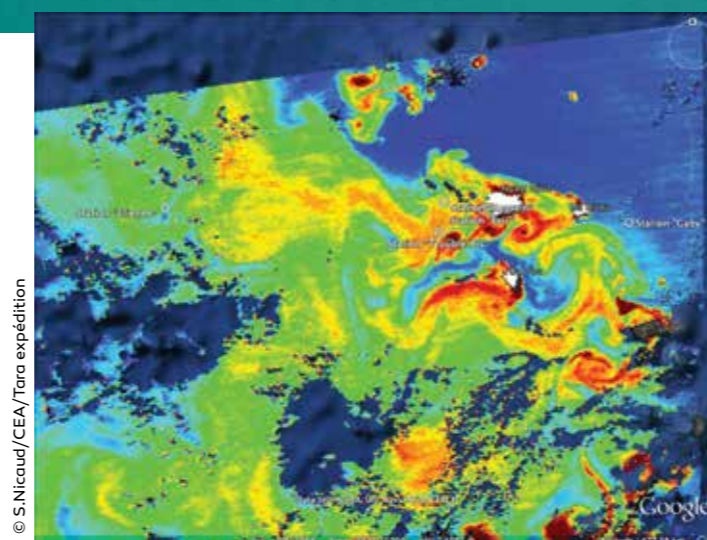
L'accroissement de la population mondiale, la diminution des réserves de combustibles fossiles et les enjeux du changement climatique (notamment la réduction des gaz à effet de serre) poussent les chercheurs à explorer de nouvelles pistes de production d'énergie.

photosynthèse. Ce phénomène n'a besoin que du Soleil comme source d'énergie.

Les micro-algues constituent un réservoir de biodiversité à peine exploré. Alliée à la compréhension du phénomène de la photosynthèse, leur culture à grande échelle devrait aboutir à la mise au point de procédés propres et durables de production de biocarburants.

La biodiversité des organismes photosynthétiques est énorme ; ils vont de la bactérie... au baobab ! Si les plantes nous sont plus familières, le plancton végétal des océans est responsable de plus de la moitié de la

Chiffre-clé : En France, un tiers des émissions de CO₂ est dû aux transports !



Carte satellite des îles Marquise - Les tourbillons de couleur indiquent la présence de plancton. Le rouge représente les zones les plus concentrées en phytoplancton. L'orange, le jaune et le vert une concentration décroissante. Le bleu, une absence de plancton en surface.

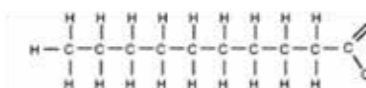


- **Animation sur la photosynthèse** réalisée dans le cadre du webdocumentaire « Odyssée de la lumière » <http://portail.cea.fr/comprendre/enseignants/Pages/ressources-pedagogiques/webdoc/odyssee-lumiere/lumiere-vitale.aspx>
- Conférence cyclope junior - « Les cyanobactéries : des origines de la vie à la conquête de l'espace » <http://portail.cea.fr/comprendre/enseignants/Pages/ressources-pedagogiques/videos/SVT/cyanobacteries-origines-vie-conquete-espace.aspx>

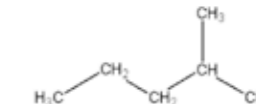


YTGHRHLEXIQUETGHKB

Acide gras : Longue chaîne de carbone plus ou moins saturée.



Alcane : Hydrocarbures saturés. Ils ne sont constitués que d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H).

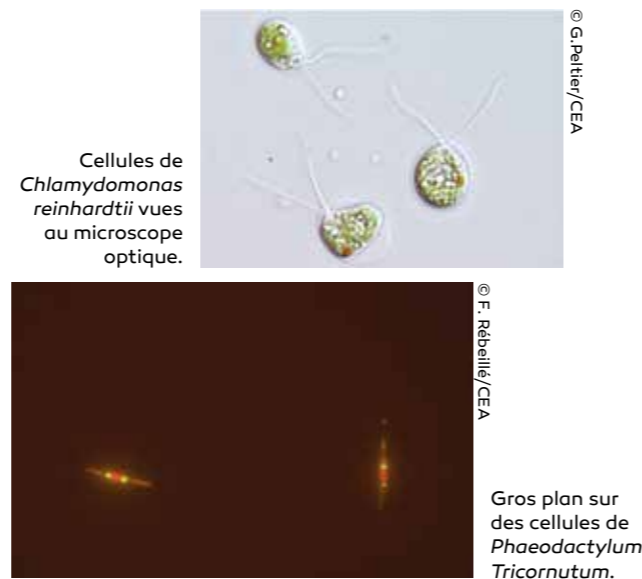


Biomasse : Matière végétale vivante présente à la surface de la Terre.

Protiste : Organisme vivant unicellulaire à noyau.

Gagner en productivité

Les micro-algues ont une vitesse de croissance inouïe : elles peuvent doubler, tripler, voire quadrupler leur masse chaque jour ! Leur productivité réside dans leur capacité à fabriquer cette biomasse, à accumuler des molécules riches en énergie (amidon, lipides) et parfois à les **excréter** dans le milieu de culture (hydrogène, alcanes). Pour les biocarburants, les chercheurs s'intéressent particulièrement aux réserves lipidiques. Les micro-algues en produisent davantage lorsque les conditions sont défavorables : variations des apports nutritifs ou stress ; mais alors elles prolifèrent moins et le rendement global est réduit. Pour accroître cette productivité, les chercheurs doivent lever certains verrous biologiques.

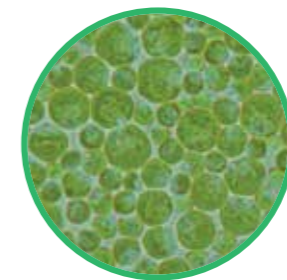


Cellules de *Chlamydomonas reinhardtii* vues au microscope optique.

Gros plan sur des cellules de *Phaeodactylum Tricornutum*.

Trois générations de biocarburants

La première génération de biocarburants utilise les plantes riches en sucre (comme la betterave) ou en amidon (pomme de terre) pour produire de l'éthanol qui sera mélangé à l'essence, à hauteur de 10 % pour le 95 E10. Les plantes riches en huile (tournesol ou colza) sont transformées en biodiésel, dont 5 % sont ajoutés au diésel. Pour éviter la compétition avec les besoins alimentaires, la deuxième génération a recours à des ressources végétales non valorisables, comme les résidus forestiers, agricoles (tiges de maïs) et les déchets organiques (boues des stations d'épuration). La troisième génération est encore à l'état de recherche. Il ne sera plus nécessaire d'utiliser des plantes ! Des micro-organismes photosynthétiques produiront des biocarburants dans des photobioréacteurs et des cultures à ciel ouvert. La combustion de ces biocarburants d'origine algale n'émet pas plus de CO₂ que celui capté au cours de la culture par photosynthèse ; offrant un bilan carbone plus favorable qu'avec des carburants fossiles.



Cultures de *Chlamydomonas reinhardtii* vues au microscope optique.

Dès 1890, l'ingénieur allemand **Rudolf Diésel** a mis au point les moteurs à combustion et les machines à vapeur fonctionnant à l'éthanol produit à partir de végétaux.



Du bécher au photobioréacteur



Etape 1 : Sélection

Grâce à un système de **criblage haut débit**, les chercheurs déterminent la quantité et la composition des lipides produits par des micro-algues, naturelles ou obtenues par mutations génétiques. Il existe plusieurs souches d'algues qui servent aujourd'hui de référence, telle que *Chlamydomonas reinhardtii* (une algue d'eau douce) ou *Phaeodactylum Tricornutum* (une diatomée qui se développe dans les océans). Ils sélectionnent les souches les plus productives parmi des dizaines de milliers.

Etape 2 : Contrôler les conditions de croissance

Les micro-organismes sont mis en culture ; ils sont plongés dans des flacons remplis de liquide nutritif (les photobioréacteurs), de quelques jours à plusieurs semaines en continu. Ils mesurent de 2 à 10 micromètres selon les espèces et leur culture se présente sous forme d'une suspension liquide de couleur verte ou brune. Les chercheurs contrôlent la teneur en gaz carbonique, la lumière, la température et le pH, ils font aussi varier les apports nutritifs. Ils étudient la croissance et la productivité des micro-organismes, l'évolution de leur métabolisme et analysent la quantité et la qualité des lipides produits.

Etape 3 : Manipulations génétiques

Les techniques d'ingénierie métabolique permettent d'optimiser les souches de micro-algues en agissant sur leur **génome**. Plusieurs objectifs : faciliter l'extraction des huiles, en augmenter la production ou cibler un lipide particulier : à chaque longueur de chaîne carbonée son usage (de 12 atomes de carbone à 20 pour le biodiésel et de 10 à 13 atomes de carbone pour le kérosène). Des chercheurs ont extrait le gène de la levure responsable de la fabrication de l'éthanol à partir de glucose lors d'une fermentation. En l'injectant à des **cyanobactéries**, comme la *Synechocystis*, celles-ci produisent de l'éthanol qui diffuse à travers leur paroi vers le milieu extérieur.

Etape 4 : Production à plus grande échelle

La récupération des lipides contenus dans les micro-organismes se fait en plusieurs étapes : centrifugation, séchage, extraction par solvant. L'huile récoltée est enfin transformée en biocarburant selon des procédés industriels éprouvés. L'hydrogène et l'éthanol, qui diffusent directement dans le milieu de culture, nécessitent des réacteurs étanches qui les emprisonnent et permettent leur récupération.

La goélette Tara lors de son escale à Lorient en 2012.

Tara

Le recensement de la biodiversité marine est en cours. Les chercheurs de l'Institut de génomique **séquentent** les espèces collectées lors du projet Tara océans (depuis 12 ans, la goélette Tara a parcouru 320 000 km sur tous les océans au cours de 10 expéditions ; recueillant 35 000 échantillons). Ils établissent des liens entre fonctions et gènes, ce qui leur permettra de procéder à l'inventaire des séquences d'intérêt industriel, notamment pour la production de biocarburant.

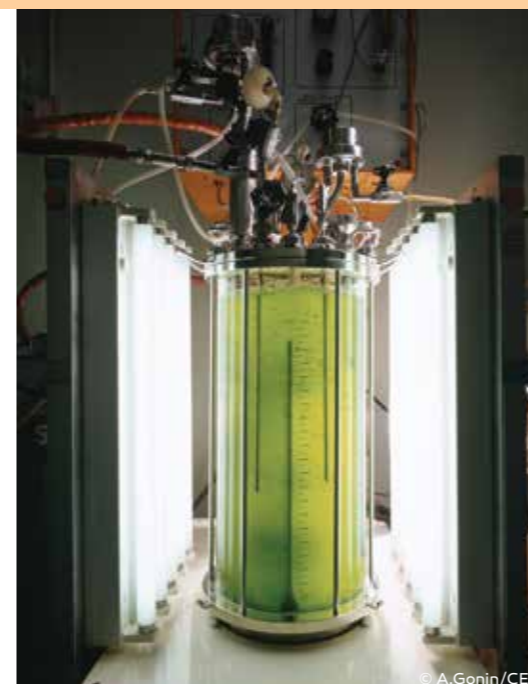
En savoir +

- Livret thématique n° 19 « Energies du XXI^e siècle » en vf et en va - 2010
- Clefs CEA n°60 « Energies bas carbone » - 2013



© G. Lesénéchal/CEA

Culture de micro-algues en flacons.



© A. Gonin/CEA

Fermentalg

Fermentalg est une société de biotechnologies industrielles spécialisée dans la production de molécules à partir de micro-algues. Ces molécules se retrouvent dans des produits du quotidien, de l'alimentation animale aux cosmétiques en passant par la nutrition humaine. Une ligne pilote de production à grande échelle d'huile et de protéines issues de micro-algues verra le jour en 2016.

YHLEXIQUETGHKBAHDREUFMLW

- Criblage haut débit :** Ensemble de techniques (robotique, logiciels d'analyse...) permettant au chercheur d'effectuer un grand nombre d'analyses (biochimiques, génétiques ou pharmacologiques) dans une courte période de temps.
- Cyanobactérie :** Bactérie capable de réaliser la photosynthèse oxygénique (productrice d'oxygène).
- Excréter :** Rejeter, évacuer des sécrétions.
- Génome :** Ensemble du matériel génétique d'un organisme vivant, codé dans son acide désoxyribonucléique (ADN).
- Séquencer :** Déterminer la séquence des gènes, effectuer le séquençage de l'ADN constituant le génome complet.

“ Je suis l’interlocuteur des chercheurs pour planifier les manips. ”



Stephan Cuiné
Ingénieur sur la plate-forme Héliobiotec

Parlez-nous de votre travail à Héliobiotec
La plate-forme travaille sur la thématique des biocarburants, la culture des micro-algues et l’analyse des différents composés qu’elles produisent. Entre les permanents et les thésards, nous sommes une trentaine dans l’équipe. En tant qu’ingénieur responsable de la logistique, je suis l’interlocuteur des chercheurs pour planifier les manips, notamment en photobioréacteur. Une étude sur une souche de micro-algues peut durer 2-3 semaines. Avec d’autres ingénieurs, je suis responsable des appareils d’analyses. Je gère les stocks, prévois la maintenance, fais réparer le matériel. Parmi les appareils, se trouvent des compteurs de cellules, des centrifugeuses (qui récoltent des cellules), des chromatographes couche mince, liquide ou gaz (pour l’analyse des cellules).

Pourquoi le laboratoire s’est-il spécialisé sur ce thème ?
Les compétences en photosynthèse et culture de micro-algues, présentes au laboratoire, ont permis de répondre à des thématiques nouvelles au CEA : les biocarburants. Nous travaillons à

partir de *Chlamydomonas reinhardtii*, un bon modèle pour étudier le métabolisme des lipides et de l’amidon, substances de base pour ces carburants.

Quelles sont vos relations avec les industriels ?
Nous avons des contrats avec des start-ups et des entreprises. Nous sommes prestataires d’analyses pour ces sociétés, elles utilisent nos appareils pointus et sophistiqués.

Pourquoi avez-vous choisi cette thématique ?
Je suis biochimiste à la base, je travaillais sur des protéines. Mais j’aime apprendre de nouvelles techniques, d’autres méthodes d’analyse et de culture. Comme la thématique des biocarburants est proche du quotidien, elle parle à tout le monde et je peux expliquer mon travail facilement.

Formation :
> Bac S
> BTS Analyse biotechnologique
> Année de spécialisation en procédés de fermentation

Quelles sont les différentes études menées dans votre équipe ?
Les études concernent le fonctionnement des plantes et du chloroplaste (organisme essentiel à la capture de la lumière pour produire de l’énergie chimique), plus particulièrement la synthèse des membranes des cellules végétales, des acides gras et des huiles qui constituent leurs réserves énergétiques. Elles sont menées dans un but de recherche fondamentale : comprendre l’ensemble des réactions (métabolisme) qui conduit à la synthèse des huiles, pour ensuite maîtriser et orienter ce métabolisme vers une direction choisie. Ces résultats permettent des recherches appliquées pour forcer les cellules à produire plus d’huiles, à l’origine des biocarburants. Dans ce cadre, nous travaillons sur des micro-algues marines.

Que faites-vous pour maîtriser la production d’huile par ces micro-algues ?
Les micro-algues peuvent accumuler jusqu’à 50 % de leur poids en huiles. Nous travaillons sur les conditions de culture (elles produisent plus d’huile dans des conditions de stress, comme un milieu déficient en sels minéraux) mais aussi sur leur génome en ciblant des réactions particulières. Il y a plusieurs types d’équipements au laboratoire : des appareils nécessaires à la croissance des algues (milieu confiné,

fermenteur), d’autres dédiés à l’extraction des lipides, et ceux pour l’analyse des lipides, pour quantifier et qualifier l’huile produite.

Travaillez-vous pour des industriels ?
Ces travaux d’expertise dans la compréhension du métabolisme des lipides par les micro-algues intéressent les industriels. Mais avant de produire des biocarburants de 3^e génération, il faut pouvoir augmenter la production d’huile. La société Fermentalg, avec qui nous collaborons, cherche à produire de façon industrielle ces micro-algues pour les biocarburants, mais aussi pour la chimie verte.

Pourquoi êtes-vous un passionné ?
J’aime comprendre comment les choses fonctionnent, et le domaine des lipides est complexe et peu connu. Je satisfais ma curiosité comme chercheur fondamentaliste. C’est aussi un enjeu sociétal. C’est pour cela que nous accueillons de nombreux étudiants : thésards, étudiants de BTS en alternance, de licence ou de master.

Formation :
> Bac S
> Etudes en pharmacie
> Thèse de troisième cycle
> Thèse d’état en sciences naturelles

“ Je satisfais ma curiosité comme chercheur fondamentaliste. ”



Fabrice Rébeillé
Chercheur au Laboratoire de physiologie cellulaire végétale

Pourquoi avoir choisi ce sujet de thèse ?
Je suis thésard en 3^e et dernière année, avant l’obtention de mon diplôme de chercheur. Mon sujet de thèse consiste à étudier les hydrocarbures produits par les micro-algues. Les hydrocarbures sont utilisés comme carburant, ils présentent un intérêt environnemental et technologique. J’avais entendu parler de cette thématique en cours. Je me suis donc orienté très tôt vers la biologie végétale, ce qui m’a permis de privilégier un sujet utile et pour lequel on voit les applications directes.

Comment se passe votre thèse ?
Je suis suivi et encadré par un chercheur au CEA, mais je travaille en équipe, avec plusieurs personnes. Dans le cadre de ma thèse, je suis le projet de A à Z. J’étudie les lipides chez les micro-algues, c’est grâce à ces composés que l’on pourra obtenir des biocarburants. Mon travail a beaucoup varié depuis le début, en fonction de ce que je découvre, des résultats...

Quelle est votre journée type ?
Je commence le matin par un café avec des collègues pour discuter du projet, des manips à lancer, des résultats obtenus. J’ai une question et je monte les expériences qui me permettront d’y répondre le mieux possible. Toutes les jour-

nées diffèrent : je peux travailler sur les gènes, par des méthodes de biologie moléculaire. Je peux aussi caractériser les organismes modifiés ou non (cela dépend de ce que l’on cherche à savoir). Le laboratoire commande les micro-algues à des sociétés en Bretagne, en fonction de nos besoins et de nos choix d’organismes d’intérêt.

Quelle expérience gardez-vous de ces trois années de thèse ?
Cela diffère beaucoup entre l’université (la théorie, le background) et le travail de chercheur au laboratoire. Ici, il faut savoir s’adapter, apprendre toujours de nouvelles choses. J’ai participé à des congrès à l’étranger pour présenter mes résultats, rencontrer des chercheurs, établir des contacts. Je suis très satisfait de ces 3 années, tout se passe bien.

Formation :
> Bac S
> Fac de biologie à Marseille
> Licence Biologie
> Master : modules de biologie végétale et biotechnologie

“ Mon travail a beaucoup varié depuis le début, en fonction de ce que je découvre. ”



Damien Sorigue
Thésard sur la plate-forme Héliobiotec

NEWS

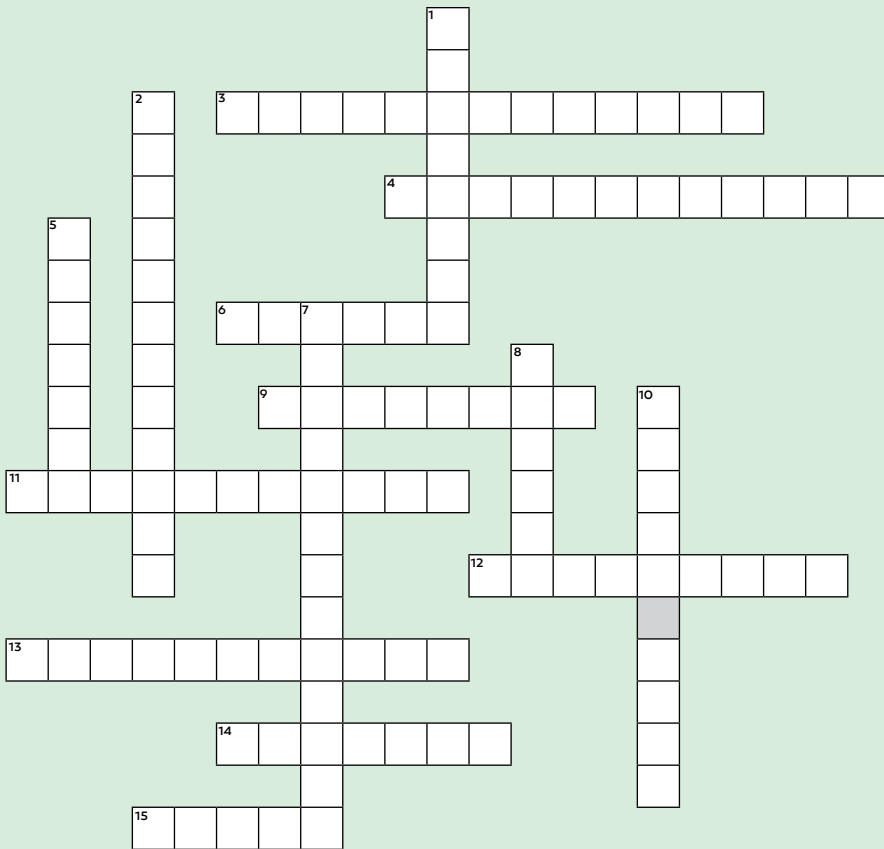
La Cité des énergies

La Cité des énergies, implantée sur le centre CEA de Cadarache, est une plate-forme d’innovation dans le domaine des énergies alternatives, alliant formation, recherche et industrie. Ce projet comprend trois axes stratégiques : expérimentation sur de grands démonstrateurs solaires, production et efficacité énergétique pour les bâtiments méditerranéens, recherche sur les biocarburants à partir de micro-algues. Pour cela, une première phase a déjà été effectuée côté procédés semi-pilotes de culture en grand volume et d’extraction. Les équipes d’Héliobiotech rejoindront les locaux dans une seconde phase, ils continueront de s’occuper de la partie recherche fondamentale et analyse.

En savoir +

- **L’essentiel sur « Les biocarburants »**
<http://portail.cea.fr/comprendre/Pages/energies/renouvelables/essentiel-sur-biocarburants.aspx>
- **Clip métier au Laboratoire de bioénergétique et biotechnologie des bactéries et des micro-algues (LB3M)**
<http://portail.cea.fr/multimedia/Pages/videos/activites-du-cea/metiers/laboratoire-bioenergetique-biotechnologie-bacteries-microalgues-lb3m.aspx>

Mots croisés



VERTICAL

- 1 :** Organisme vivant unicellulaire à noyau
- 2 :** Ensemble des espèces vivantes et de leurs caractéristiques génétiques
- 5 :** Manière d'exploiter certaines ressources naturelles
- 7 :** Processus naturel qui transforme l'énergie lumineuse en carburant pour les plantes
- 8 :** Hydrocarbure saturé, constitué d'atome de carbone et d'hydrogène
- 10 :** Longue chaîne d'atomes de carbone, plus ou moins saturée

HORIZONTAL

- 3 :** Mise au point d'une technologie, d'un processus avant la phase de production à grande échelle
- 4 :** Carburant conçu à partir de la biomasse
- 6 :** Composant fondamental de la matière vivante, lui apportant de l'énergie
- 9 :** Particule formée d'atomes
- 11 :** Plate-forme de recherche sur les biocarburants
- 12 :** Ensemble d'études et de travaux menés méthodiquement pour faire progresser la connaissance
- 13 :** Enceinte de culture de micro-algues
- 14 :** Existe sous plusieurs formes : thermique, lumineuse, mécanique, électrique...
- 15 :** Espèce végétale se développant dans l'eau (douce ou de mer)

13 : Bioreacteur - 14 : Energie - 15 : Algue
 9 : Molecule - 11 : Héliobiotec - 12 : Recherche -
 3 : Développement - 4 : Biocarburant - 6 : Lipide -

HORIZONTAL

7 : Photosynthèse - 8 : Alcane - 10 : Acide gras
 1 : Protiste - 2 : Biodiversité - 5 : Culture -

VERTICAL

REPONSES



Pour les curieux de sciences, le nouveau site Jeunes est en ligne !

Le site Jeunes est dédié à la découverte des sciences, des technologies et de la recherche. En lien avec les programmes scolaires, il propose de nombreuses ressources pédagogiques et supports multimédias dans les domaines suivants : énergies, radioactivité, climat & environnement, technologies, santé & sciences du vivant, physique-chimie, matière & Univers. Pour celles et ceux qui s'interrogent ou s'intéressent aux métiers scientifiques, une trentaine de vidéos présente les témoignages de chercheurs du CEA.

Sites

CEA : www.cea.fr
CEA jeunes : www.cea.fr/jeunes
Héliobiotec : www-heliobiotec.cea.fr
Retrouvez les Savanturiers en version web et les vidéos des interviews :
www.cea.fr/le_cea/publications/les_savanturiers/



Éditeur : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, RCS Paris B 775 685 019
Directeur de la publication : Xavier Clément - **Ont participé à ce numéro :** Stéphan Cuiné, Stéphanie Delage Florence Klotz, Lucia Le Clech, Eric Maréchal, Gilles Peltier, Fabrice Rébeillé, Damien Sorique. - **Portraits pages 6-7 :** Maxime Klotz
Création, réalisation et impression : FILcom - www.filcom.fr
Création de la tête à tête : NPO - Février 2016 - ISSN 2271-6262

Nous remercions Fabienne Chauvière d'avoir accepté que nous empruntons le titre de son émission.

Ne peut être vendu

