



**HAL**  
open science

## Bâtiment et pratiques énergétiques

Jean-Pierre Lévy, Marjorie Musy

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Lévy, Marjorie Musy. Bâtiment et pratiques énergétiques. Guthleben, Denis. Sciences. Bâtir de Nouveaux Mondes, CNRS Editions, pp.92-93, 2019. hal-02913765

**HAL Id: hal-02913765**

**<https://enpc.hal.science/hal-02913765>**

Submitted on 20 Aug 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

The image features a complex abstract design. On the left, there are several overlapping, jagged, arrow-like shapes pointing right. These shapes are composed of multiple parallel lines in shades of dark blue, light blue, and gold. The lines are closely spaced, creating a sense of depth and movement. In the center-right, the text 'LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE' is displayed in a bold, gold, sans-serif font. To the right of the text, there are several vertical, slightly slanted lines in dark blue. Below these lines, there is a grid of gold plus signs (+) arranged in a roughly rectangular pattern. The background is white, and the overall composition is clean and modern.

LA TRANSITION  
**ÉNERGÉTIQUE**

**À L'ÉCHELLE DE LA PLANÈTE, LE REMPLACEMENT RAPIDE DES ÉNERGIES FOSSILES PAR D'AUTRES NÉCESSITE DE RÉALISER DES RUPTURES CONCEPTUELLES, SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES. CECI IMPLIQUE UNE VISION PARTAGÉE DES CHOIX STRATÉGIQUES, ÉCONOMIQUES, TECHNOLOGIQUES, SOCIAUX ET ÉCOLOGIQUES MAJEURS. LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE EXIGE, OUTRE DES INVESTISSEMENTS DE PLUSIEURS MILLIARDS DE MILLIARDS D'EUROS, L'IMPLICATION DE TOUS LES ACTEURS, EN ALLANT DE L'ÉDUCATION, LA RECHERCHE ET L'INNOVATION À L'ENTREPRENARIAT, ET AU FINAL DE TOUS LES CITOYENS – LES « CONSOM'ACTEURS », MAIS PAS SEULEMENT – POUR INVENTER DE NOUVEAUX MODÈLES ET PRATIQUES SOCIO-ÉCONOMIQUES.**

### Une prise de conscience précoce

Pour arriver à une transition énergétique réussie, il faut forger de nouveaux paradigmes liés à la décentralisation de la production d'énergie, en intégrant au plus tôt la prise en compte des conséquences. Cela implique également une prise de conscience des usagers et consommateurs pour participer à l'utilisation rationnelle des ressources énergétiques.

Le CNRS travaille depuis longtemps sur ces problématiques. Dès 1975, il a initié le Programme interdisciplinaire de recherche pour le développement de l'énergie solaire (PIRDES), dont les thèmes portaient déjà sur la chaleur solaire, l'électricité par conversion thermodynamique, ou photovoltaïque, la bioconversion et les biocarburants, la météorologie et l'ensoleillement, enfin la socio-économie de l'énergie. En 1982, un programme sur les sciences pour l'énergie et les matières premières (PIRSEM) a pris sa suite, alors que le ministère de la Recherche avait affiché comme une priorité la maîtrise de l'énergie et le développement des énergies renouvelables, et au moment de la création de l'Agence française de maîtrise de l'énergie (AFME,

devenue l'ADEME en 1991). Les thèmes de recherche du PIRSEM concernaient les énergies fossiles, les énergies renouvelables, l'utilisation rationnelle de l'énergie, l'économie des matières premières, en plus de la socio-économie de l'énergie. Puis, en 1993, le programme ECOTECH sur les technologies sobres et propres a permis de construire des actions pluridisciplinaires et des collaborations durables avec l'industrie, et de pousser les recherches finalisées jusqu'au stade de composants probatoires ou de prototypes. Enfin, depuis 2012, la cellule « Énergie » du CNRS a pour vocation de coordonner les actions de l'établissement et de servir de pont vers d'autres organismes nationaux (les universités, le CEA, l'Alliance nationale de coordination de la recherche en énergie), européens (programme cadre, Horizon 2020, etc.) et internationaux (comme l'Agence internationale de l'énergie).

### Énergies : les enjeux de la recherche

En 2018, plus de 250 unités du CNRS ont déclaré travailler dans le domaine de l'énergie, où le caractère interdisciplinaire est plus fortement marqué qu'ailleurs. On y retrouve en effet des communautés issues des sciences physiques, chimiques, biologiques, optiques, électroniques, de l'ingénierie, mais aussi humaines et sociales. Les objectifs sont d'explorer de nouveaux leviers pour répondre à terme à la perspective de la neutralité carbone. Les activités ambitionnent d'atteindre des ruptures, qu'elles soient technologiques (stockage et séquestration du carbone, forte pénétration des énergies renouvelables et d'équipements à hydrogène, mutation numérique des transports et des équipements énergétiques...) ou socio-économiques (effets de l'évolution des modes de vie sur la consommation et les déplacements).



Dispositif de production d'hydrogène par fermentation. Des substrats celluloseux sont dégradés pour produire du biogaz (composé d'hydrogène et de dioxyde de carbone) et des acides gras volatiles.

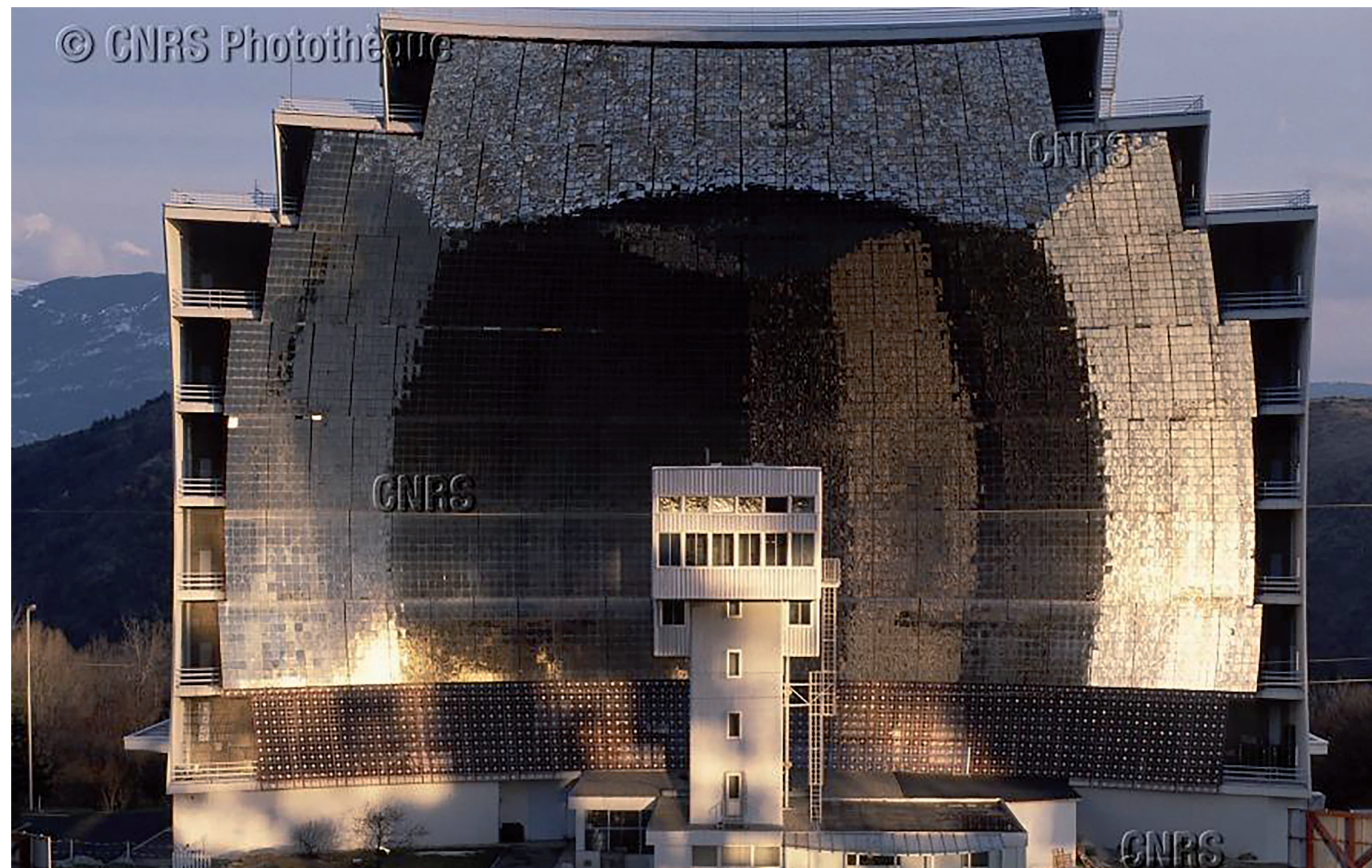
Ainsi, les défis scientifiques et technologiques auxquels s'attaquent plusieurs laboratoires dans le domaine des énergies renouvelables concernent l'amélioration des rendements de conversion, avec l'apport essentiel de grandes disciplines comme la mécanique des fluides (énergies marines et éoliennes), les procédés de transformation (biocarburants) ou la photonique (photovoltaïque), mais aussi le développement de techniques de stockage de l'énergie sous toutes ses formes (électricité, chaleur, hydrogène...) plus efficaces et plus respectueuses de l'environnement, avec notamment la prise en compte des principes de l'économie circulaire, du cycle de vie des matériaux. En particulier, du fait du caractère intermittent/aléatoire des énergies renouvelables telles que le solaire, l'éolien et l'hydraulique, il

ya nécessité de stocker l'excès de production d'électricité sous différentes formes : stockage électrochimique (batteries, supercondensateurs, etc.), mécanique (volant d'inertie, station de transfert d'énergie par pompage, air comprimé, etc.) et gazeux (électrolyse de l'eau pour produire de l'hydrogène).

Les voies de développement les plus spectaculaires et les plus visibles actuellement en vue d'une mobilité propre concernent le stockage dans les batteries, la production d'hydrogène et sa conversion par les piles à combustible, et le stockage de chaleur issue du solaire concentré. L'autonomie et la durée de vie des batteries et des piles à combustible ont fortement augmenté grâce au développement de matériaux innovants et leur intégration dans des systèmes intelligents.

Dans le domaine de la distribution de l'énergie, la recherche porte sur le développement de nouveaux réseaux, en particulier d'électricité, avec des activités dans le domaine du génie électrique, des techniques de l'information et de la communication, et de l'électronique de puissance. On peut citer, par exemple, des recherches sur de nouvelles architectures des réseaux de distribution et de planification sous incertitudes, le pilotage des flexibilités et gestion de l'énergie des « consommateurs », ou encore le développement de solutions de pilotage innovantes pour la stabilité des micro-réseaux. Ce domaine bénéficie de plus en plus des apports de nouvelles communautés pour faire face aux nombreux enjeux interdisciplinaires sous-jacents, tels que la disponibilité des ressources minérales pour les énergies renouvelables, en lien avec les sciences de la terre et de l'environnement, ou encore les aspects éthiques, juridiques, économiques, qui mobilisent les sciences humaines et sociales.

L'efficacité énergétique constitue un autre domaine d'intérêt. Les recherches sont orientées vers l'amélioration des rendements de conversion thermique (transfert, pyrolyse, etc.), la récupération d'énergie dans le bâtiment et l'industrie (rendements des échangeurs de chaleurs, nouveaux matériaux et fluides caloporteurs), et le développement de nouveaux matériaux de construction (composites) et matériaux à changement de phase. Il est également question de conception nouvelle de l'habitat urbain ou rural pour intégrer les nouvelles formes de production et de consommation. Pour les scientifiques comme pour l'Humanité dans son ensemble, l'énergie est l'un des principaux défis du XXI<sup>e</sup> siècle! ■



Four solaire de 1000 kW du CNRS, à Odeillo.

#### UN « GRAND FOUR » POUR CAPTURER LE SOLEIL...

Avec son champ de 63 héliostats et son bâtiment principal de 54 mètres de haut couvert de miroirs, le grand four d'Odeillo n'attire pas que les rayons du soleil, mais aussi les regards ! Ce formidable équipement scientifique, campé au cœur de la Cerdagne française, a été inauguré en 1969 : alors que le CNRS fête son 80<sup>e</sup> anniversaire, il célèbre pour sa part un demi-siècle d'existence, au service de la recherche sur l'énergie solaire et de ses innombrables applications...

Cette aventure scientifique et humaine ne débute toutefois pas à la fin des années 1960 dans les Pyrénées orientales, mais dès la Libération, en région parisienne. En 1946, le physicien Félix Trombe, qui dirige le laboratoire des terres rares à Meudon, parvient à concentrer la lumière du Soleil à l'aide d'un miroir de DCA – une « prise de guerre » soutirée deux ans plus tôt à la Wehrmacht en déroute –, et obtient de hautes températures en milieu confiné. Son but ? Faire fondre les minerais de terres rares et en extraire des matériaux purs dont il souhaite étudier les propriétés. L'expérience s'étant révélée concluante, le chercheur obtient du CNRS les crédits nécessaires pour construire un prototype de four solaire. Mais Meudon n'est pas le site idéal pour poursuivre les travaux. Puisqu'il faut du Soleil, beaucoup de Soleil, Félix Trombe décide de s'éloigner de la capitale, et jette son dévolu sur Mont-Louis, non loin de la frontière espagnole. Là, le prototype voit le jour

## ÉNERGIE ET BÂTIMENT

en 1947 au sein d'un nouveau laboratoire de recherches sur l'utilisation de l'énergie solaire.

Rapidement, le physicien et ses collaborateurs élargissent en effet leur champ d'étude aux applications de cette énergie. Un colloque international organisé sur le site en juin 1958 le montre : il est question, entre autres, du chauffage et de la climatisation des maisons, de la distillation de l'eau, de la culture sous serre et, bien sûr, de la transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique... une nouvelle preuve, si besoin est, du formidable potentiel de valorisation que renferme la recherche fondamentale : dix ans plus tôt, il n'était encore question que d'étudier les propriétés de certaines matières minérales ! À cette occasion, Félix Trombe présente un projet de four solaire de 1000 kW, dont il peut entreprendre la construction, à partir de 1963 sur la commune voisine de Font-Romeu-Odeillo-Via, à la faveur des crédits importants que la France gaullienne déverse sur la recherche. Au terme de six ans de travaux, le « grand four d'Odeillo » est opérationnel.

Lorsque survient le premier choc pétrolier, en 1973, le CNRS dispose ainsi d'un outil exceptionnel : le four est l'un des équipements phares mobilisés dans le cadre de son programme interdisciplinaire de recherche pour le développement

de l'énergie solaire. Grâce à lui et à d'autres opérations lancées à travers le pays, la France ne tarde pas à se placer à la pointe de la recherche dans ce domaine, rivalisant avec les États-Unis au soir de la décennie 1970. La « chimie solaire » n'a toutefois pas toujours eu le vent en poupe par la suite : des choix politiques, parfois effectués au plus haut niveau de l'État, ont conduit à négliger ce champ de recherche pourtant prometteur à partir du milieu des années 1980. Mais cette éclipse a pris fin à l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle, devant les immenses défis environnementaux et énergétiques qui se posent à l'Humanité : depuis 2004, au sein d'un nouveau laboratoire « procédés, matériaux et énergie solaire » (PROMES) du CNRS, le grand four d'Odeillo, de même que la centrale solaire Thémis construite au milieu des années 1980 sur la commune toute proche de Targassonne, sont devenus des outils indispensables pour préparer notre avenir.

La thermique du bâtiment s'intéresse principalement à l'étude de la consommation énergétique du bâtiment et du confort de l'utilisateur. Les recherches comprennent des travaux techniques pour développer de nouveaux matériaux et de nouveaux équipements de conditionnement des ambiances et des approches de physique, pour comprendre, expérimenter et modéliser ces systèmes complexes... autant d'approches intimement liées les unes aux autres ! L'enveloppe et les systèmes, le cycle de vie du bâtiment et ses impacts énergétiques ont ainsi fait l'objet de très nombreuses avancées. Elles ont permis d'apporter des éléments de réponse aux renforcements successifs des réglementations thermiques des bâtiments neufs et soutenir la rénovation des anciens.

Ces progrès techniques auraient dû conduire à des économies d'énergie d'envergure. Pourtant, même si les bâtiments actuels sont beaucoup moins énergivores, la consommation du secteur continue de progresser. Pour comprendre ce paradoxe, les contextes socio-spatiaux, l'intensité de la construction et la faiblesse de l'isolation du parc ancien sont souvent convoqués. Ces explications sont cependant incomplètes, dans la mesure où l'énergie est aussi utilisée à des fins domestiques et répond à des besoins courants, tels que le confort et les pratiques du logement.

Pour réduire les consommations du bâtiment, il est donc important de connaître et comprendre les gestes énergétiques quotidiens effectués

par les occupants des logements. Dans ce cadre, un des verrous à lever est l'intégration de ces comportements dans les modèles statistiques ou mathématiques de consommations des bâtiments élaborés par les ingénieurs. L'approche économique est particulièrement adaptée à ces croisements disciplinaires. Elle a notamment permis de modéliser l'existence d'un effet rebond, dont les ressorts sont socio-économiques mais la source est technique : après avoir réalisé des

travaux d'isolation dans son logement, un ménage pourra par exemple réinvestir l'économie financière faite sur sa facture de chauffage dans des équipements très consommateurs en énergie...

Cette entrée ne permet cependant pas d'aborder les pratiques énergétiques dans toute leur complexité. Car les comportements ne s'interprètent pas comme des actions isolées les unes des autres, mais comme des processus variables

selon les caractéristiques sociales des ménages, l'environnement bâti, éléments qui évoluent tout au long du cycle de vie. Un autre verrou provient donc de la difficulté à modéliser numériquement des pratiques mises en évidence par des approches qualitatives.

C'est sans doute sur ce point que les recherches dans le domaine énergétique du bâtiment sont les plus stimulantes, parce qu'elles sont dans l'obligation de développer une interdisciplinarité radicale, associant les sciences sociales, économiques et l'ingénierie notamment. Ainsi, les travaux en cours tentent de croiser des approches inductives, déterministes et statistiques, avec des approches mathématiques, déductives et stochastiques, voire toutes ces approches entre elles. Ils débordent le cadre strict de la consommation des bâtiments pour s'élargir aux îlots de chaleur urbains induits par les déperditions énergétiques du bâti, les matériaux, les formes urbaines et les usages. Dorénavant, et c'est sans doute là l'avancée la plus significative de ce champ de recherche, l'usage n'est plus considéré comme une variable d'ajustement, pas plus qu'il n'est réduit à un assemblage d'indicateurs discrétisés : les modèles de représentation de la demande énergétique du bâtiment tentent de l'intégrer dans sa complexité dynamique, au même titre que le cycle de vie du bâtiment et son environnement construit et naturel. ■



Canopea, projet prototype inspiré de l'étage supérieur des forêts, utilisant le soleil comme unique source d'énergie. Vainqueur 2012 du concours universitaire solar decathlon, invitant les étudiants de 20 universités du monde entier à travailler sur la thématique de l'habitat à énergie positive.



Le site d'essais en mer de Centrale Nantes et l'éolienne flottante FLOATGEN.

## ÉNERGIES MARINES RENOUVELABLES : DE L'IDÉE AU PREMIER KWH

Les mers et océans du globe ont toujours eu une place à part dans l'imaginaire collectif. Tantôt effrayants, tantôt attirants, les espaces mouvants qu'ils abritent de leurs surfaces aux abysses nous captivent. À la base de cette fascination résident notamment les quantités colossales d'énergie en leur sein, et qu'il nous est souvent possible d'expérimenter, voir ou sentir, en sécurité parfois assez relative. L'Homme s'efforce ainsi depuis des siècles de dompter ces énergies que sont le vent, les vagues, la marée et les différences de température entre fond et surface. Ces dernières dizaines d'années ont été particulièrement prolifiques en idées et concepts, en réponse à l'attente sociétale pour des sources d'énergies nouvelles réduisant notre dépendance aux hydrocarbures.

La communauté scientifique française a largement contribué à poser les bases théoriques et méthodologiques en hydrodynamique des structures marines dont font partie les systèmes de récupération des énergies marines renouvelables (éoliennes en mer posées ou flottantes, hydroliennes, houlogénérateurs). Le laboratoire de recherche en hydrodynamique, énergétique et environnement atmosphérique (LHEEA) de Centrale Nantes et du CNRS a notamment œuvré pour accompagner la maturation de ces systèmes. Plusieurs générations

de modèles numériques, de bassins d'essais de dimensions inédites et de prototypes ont ainsi permis de défricher de nombreux pans du domaine. Par exemple, le premier prototype de « houlomoteur » développé par les équipes du LHEEA, le « Searev » qui puise l'énergie des vagues, a été breveté dès 2004.

L'étape ultime de la validation d'une nouvelle technologie de récupération des énergies marines renouvelables est la démonstration en mer. C'est pourquoi dans le cadre de ses recherches avancées au sein du LHEEA, Centrale Nantes a lancé en 2008 la construction d'un site d'expérimentation en mer de récupérateurs d'énergie du vent et des vagues, le SEM-REV, à l'échelle réelle, à mi-chemin entre Le Croisic et Belle-Île, une aventure à laquelle s'est associé, dès l'origine, le CNRS.

Le site est connecté au réseau électrique français et opérationnel pour l'accueil de démonstrateurs depuis 2015. Il a permis de manière inédite dans le monde de réunir au sein d'un laboratoire des chercheurs et ingénieurs capables de travailler de la première ébauche de concept jusqu'à la production et l'injection d'électricité par un prototype installé en mer. L'ancrage et le raccordement, en 2018, de la première éolienne en mer en France, FLOATGEN, en sont la concrétisation. Ce prototype d'éolienne flottante préfigure

les futures générations de machines installées au-delà des zones côtières de faible profondeur où la majorité des parcs est actuellement installée.

L'injection de premiers kWh ne constitue cependant pas un but en soi. De nombreux défis techniques, économiques, environnementaux et sociétaux restent à résoudre pour permettre un déploiement massif de ces énergies. Des modèles théoriques jusqu'à l'expérimentation en conditions réelles, l'apport de la communauté scientifique dans sa globalité sera primordial afin de rendre ces énergies pleinement compétitives et de les intégrer durablement dans nos environnements et paysages. ■