

Quelle recherche pour les énergies du futur ?

Bioénergies
Captage et stockage du CO₂
Solaire photovoltaïque
Hydrogène et piles à combustible
Stockage de l'énergie

Cité des Sciences et de l'Industrie
Paris - 19-20 novembre 2009

Synthèse du 1^{er} colloque - Bilan de l'ANR sur l'énergie

En partenariat avec



énergie atomique • énergies alternatives





Quelle recherche pour les énergies du futur ?

Bioénergies

Captage et stockage du CO₂

Solaire photovoltaïque

Hydrogène et piles à combustible

Stockage de l'énergie

Depuis 2005, l'Agence Nationale de la Recherche a financé plus de 1 500 projets, dont 220 sur les Nouvelles Technologies de l'Energie, combinant recherche fondamentale et recherche industrielle, avec une forte composante de partenariat public-privé.

L'ANR se voit confier une place clé, un rôle structurant de la recherche, un catalyseur attendu à la fois par les organismes publics et l'industrie.

Les 19 et 20 novembre 2009, l'ANR a organisé son premier colloque-bilan sur les énergies du futur et leur impact sur le développement durable, à la Cité des Sciences et de l'Industrie de Paris.

L'objectif de cette rencontre était double : d'une part présenter les résultats marquants des principaux projets de recherche soutenus par l'ANR sur les énergies du futur ; d'autre part dégager les grandes perspectives d'évolution des programmes de la recherche française sur les NTE.

Ces journées, qui ont rassemblé plus de 700 personnes, ont permis de faire le point sur les résultats marquants des 5 principaux programmes de l'ANR sur les nouvelles technologies de l'énergie et de dégager les grandes perspectives d'évolution des programmes de la recherche française.

Des fiches de bilan des 200 projets financés de 2005 à 2008, des posters, des résumés, et l'ensemble des supports d'intervention présentés en séance plénière sont consultables sur le site :

www.colloques-2009-anr.fr

Jacqueline Lecourtier

Directeur général de l'ANR

Sommaire

1

Quelle place pour les nouvelles technologies de l'énergie dans le développement durable en France et dans le monde ?

Jacqueline LECOURTIER, Directeur général de l'ANR	p 4
Michèle PAPPALARDO, Déléguée interministérielle et Commissaire générale au Développement durable	p 5
Alain BUCAILLE, Directeur de la recherche et de l'innovation d'AREVA	p 6

2

Les programmes "Nouvelles technologies de l'énergie"

Anne FALANGA, Présidente du Comité de pilotage Bioénergies	p 9
Christian FOUILLAC, Président du Comité d'évaluation CO ₂	p 10
Jacques AMOUROUX, Président du Comité d'évaluation Solaire PV	p 12
Patrick BOUCHARD, Vice-Président du Comité de pilotage Pan-H	p 14
Daniel CADET, Président du Comité de pilotage Stock-E	p 16

3

Les priorités de la recherche pour les NTE

Gabriele FIONI, Directeur scientifique en charge de l'énergie (DGRI)	p 18
Olivier APPERT, Président de l'IFP	p 18
Patrick LE QUÉRÉ, Directeur du programme interdisciplinaire Énergie du CNRS	p 19
Hervé BERNARD, Administrateur général adjoint du CEA	p 20
François MOISAN, Directeur exécutif Stratégie et Recherche de l'ADEME	p 21
Jacqueline LECOURTIER, Directeur général de l'ANR	p 22

4

Perspectives et challenges pour l'industrie

Marc de WITTE, Directeur adjoint de la recherche et de l'innovation de GDF - SUEZ	p 24
Gilles COCHEVELOU, Directeur R&D gaz et énergies nouvelles de TOTAL	p 25
Rémi BASTIEN, Directeur de la recherche et des études avancées sur les matériaux de RENAULT	p 26
Martha HEITZMANN, Directrice R&D d'AIR LIQUIDE	p 27

5

Les PME et l'ANR

Thierry LEFEBVRE, Président Directeur général de SUN LAND 21	p 29
Ulysse MICHON, Directeur R&D d'EUROPLASMA	p 29
Olivier PERRIER, Directeur général de RAIGI SAS	p 30

6

Perspectives et challenges pour la recherche

Le stockage électrochimique de l'énergie Jean-Marie TARASCON, Professeur à l'Université de Picardie	p 32
Le solaire photovoltaïque Daniel LINCOT, Directeur de laboratoire à Chimie ParisTech et Directeur de l'IRDEP	p 33
Les nouveaux matériaux pour l'énergie Georges HADZIIOANNOU, Professeur à l'Université de Bordeaux	p 34
L'intégration des énergies renouvelables dans les systèmes électriques Michèle JACQUEMELLE, Chef du Département Economie, Fonctionnement et Études des Systèmes Energétiques d'EDF R&D	p 35
Les innovations technologiques pour les nouvelles technologies de l'énergie Nicole MERMILLIOD, Directrice du Programme NTE du CEA	p 36

7

Conclusions

Jean-Bernard SAULNIER, Président du Comité scientifique sectoriel énergie de l'ANR	p 38
----------------------------------------------------------------------------------------------	------

1

Quelle place pour les nouvelles technologies de l'énergie en France et dans le monde ?



Jacqueline Lecourtier
Directeur général de l'ANR

Le changement climatique et la diminution des ressources fossiles orientent désormais l'évolution des politiques de recherche sur l'énergie des pays industrialisés. L'Europe a choisi une politique volontariste de lutte contre les émissions de GES (gaz à effet de serre), qui soulève des défis technologiques majeurs. Les objectifs européens pour 2020 sont les suivants :

- réduction de 20 % des émissions de GES,
- part de 20 % d'énergie renouvelable,
- gain de 20 % en efficacité énergétique.

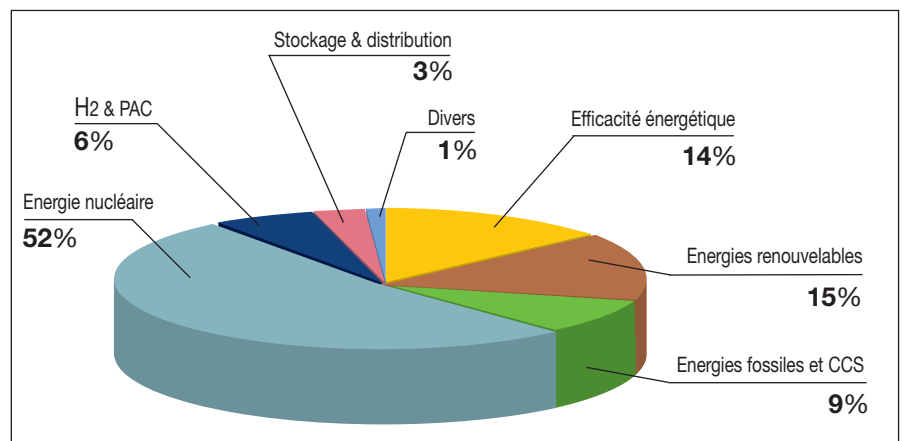
Au niveau mondial, on assiste au décollage des dépenses de R&D sur l'énergie, avec une croissance de 40 % entre 2000 et 2008 selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Le Japon est en tête avec une dépense annuelle de R&D pu-

blique de près de 2,9 milliards de dollars, suivi par les Etats-Unis avec 2,5 milliards de dollars. La France se classe troisième avec 810 millions de dollars, devant l'Allemagne. En 2009, l'énergie nucléaire représentait plus de 50 % des dépenses publiques de R&D françaises. Créée en 2005, l'ANR s'appuie sur des comités scientifiques sectoriels pour définir les priorités au sein des différentes thématiques : santé, sciences et technologies de l'information et de la communication, sciences humaines et sociales, engineering, nanotechnologies, écosystèmes et énergie. Chercheurs, industriels, représentants des ministères, et parfois représentants de la société civile composent ces comités. Celui consacré à l'énergie a sélectionné les thématiques suivantes : bioénergies, hydrogène & piles à combustible (PAC), photovoltaïque, stockage de l'énergie, villes durables, et efficacité des systèmes industriels.

Entre 2005 et 2008, plus de 1 000 projets sur l'énergie déposés, l'ANR en a retenu 319, correspondant à un taux de sélection de 30 % environ.

L'ANR a fortement soutenu les partenariats publics-privés, finançant ainsi 1 660 équipes (dont 608 en entreprises), pour un montant total de 292 millions d'euros :

- 195 M€ sur les NTE (Pan-H, PV, Bioénergies et Stock-E)
- 97 M€ sur l'efficacité énergétique et environnementale (PREBAT, PREDIT, Villes durables et CO₂).



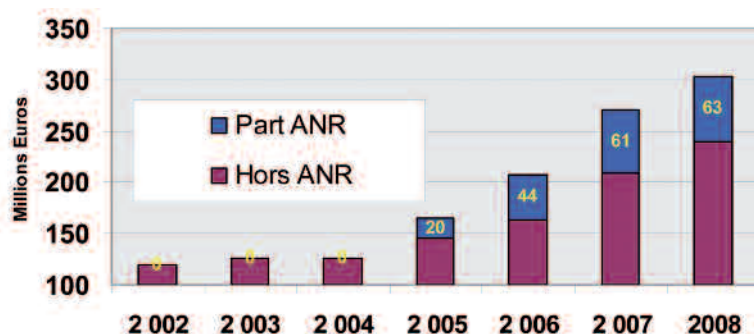
Les programmes ANR ont permis de regrouper les efforts de la communauté scientifique française des NTE et de leur donner une meilleure visibilité internationale.

L'agence a aussi contribué de manière importante au soutien des priorités de la recherche définies par le Gouvernement. Ces recherches ont conduit à des innovations marquantes, notamment dans le secteur du photovoltaïque de l'hydrogène et des PAC, pour lequel 60 brevets ont été déposés. Elle a contribué à la préparation de projets de démonstrateurs, dont le financement est mis en place par l'ADEME, notamment dans les domaines du CO₂, des bioénergies.

La programmation 2010, que l'on peut consulter sur le site Internet de l'ANR, vise à renforcer les actions sur l'efficacité énergétique. Les débats initiés par ce colloque vont pouvoir alimenter les réflexions du comité sectoriel NTE sur la préparation du nouveau cycle

de programmation 2011-2013, dont le cadre a été fixé par la stratégie nationale de la recherche et de l'innovation (SNRI) et les priorités du Grenelle. Ils seront enrichis des résultats de la consultation annuelle des acteurs de l'énergie, des feuilles de route de l'ADEME et des propositions de l'ANCRE, Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie, fondée par le CEA, le CNRS et l'IFP.

Dépense publique R&D NTE énergie en France (hors nucléaire et fossiles).



Michèle Pappalardo

Déléguée interministérielle et Commissaire générale au Développement durable

Bien que le Grenelle de l'Environnement soit une méthode de travail spécifiquement française, ses orientations stratégiques sont cohérentes avec celles de tous les pays développés. Fin 2008, les plans de relance ont permis de constater que les axes stratégiques offraient tous une place prépondérante à la recherche sur le climat, sur les

énergies renouvelables, ainsi que sur l'efficacité et la sobriété énergétiques.

La sortie de la crise nous amène tous à repenser la gestion des ressources de notre planète et la sobriété énergétique.

La mise en ordre de bataille des équipes et la définition de feuilles de route constituent les évolutions marquantes de ces dernières années. Les budgets, y compris ceux des établissements de recherche, sont orientés pour atteindre les objectifs ainsi définis. Les premiers bilans réalisés montrent que les différents acteurs se sont bien coordonnés pour développer une dynamique efficace dans le cadre du Grenelle.

A la demande du Ministre, le Commissariat général au Développement durable (CGDD) a mené une étude pour évaluer les forces et les faiblesses de la recherche et de l'industrie françaises pour chacune des 17 technologies

vertes identifiées (énergies renouvelables, efficacité énergétique, transports, sobriété...).

L'objectif était d'identifier celles qui seraient les plus porteuses d'avenir pour notre pays.

Cette étude traite à la fois du volet recherche et du volet industriel. La mise en ligne d'un questionnaire par le Commissariat général au Développement durable a permis aux différents acteurs de contribuer à l'élaboration d'une feuille de route.

A l'heure du développement des véhicules électriques et de la croissance de la production à base de sources renouvelables, le stockage de l'électricité est l'un des grands défis à relever.



Alain Bucaille
 Directeur de la recherche et
 de l'innovation d'AREVA

Du point de vue d'AREVA, le débat opposant énergies renouvelables et énergie nucléaire n'a plus de sens : la population mondiale aura besoin de toutes les sources d'énergie disponibles. A titre d'exemple en 2010, AREVA devrait réaliser plus d'un milliard d'euros de chiffre d'affaires dans les énergies renouvelables. Du point de vue de l'entreprise, il est primordial de se placer dans une approche globale, dans laquelle il convient de différencier les enjeux nationaux des enjeux mondiaux et surtout de ne pas les opposer.

La démarche du Grenelle a permis à la France de mettre la situation en

perspective et de se mettre en position de rattraper son retard en matière de recherche sur l'énergie.

En matière d'hydrogène, un enjeu mondial consiste à remplacer les méthodes actuelles de craquage du méthane dans les raffineries, qui représentent 2 % des émissions totales de GES (autant que celles de la France).

Les carburants pour l'aviation représentent aussi un enjeu majeur. Le recyclage du CO₂ des cimenteries pourrait permettre de faire perdurer l'aéronautique sans émissions marginales de CO₂, à partir de 2020. En matière de technologie, il faut être centré sur le bouclage du cycle du carbone.

AREVA a rencontré de nombreuses difficultés pour développer une activité éolienne terrestre : achat de BONUS interdit, revente forcée d'un tiers de REPOWER... Toutefois, en 2010 l'entreprise a engagé 20 millions d'euros dans la recherche sur l'éolien offshore et vient de signer, via sa filiale allemande MULTIBRID, un contrat de 500 millions d'euros sur cette technologie. Le groupe ne s'est pas impliqué dans le photovoltaïque, estimant que les pétroliers étaient beaucoup mieux

positionnés pour développer cette recherche. En revanche, l'entreprise espère pouvoir se lancer dans le solaire thermodynamique à concentration... si son actionnaire majoritaire lui autorise ces investissements.

En termes de R&D, il serait irresponsable de la part d'AREVA de consacrer le même budget à l'énergie nucléaire et aux renouvelables. A titre d'exemple, 6 milliards d'euros devraient être consacrés à la R&D sur le nucléaire de 4^{ème} génération.

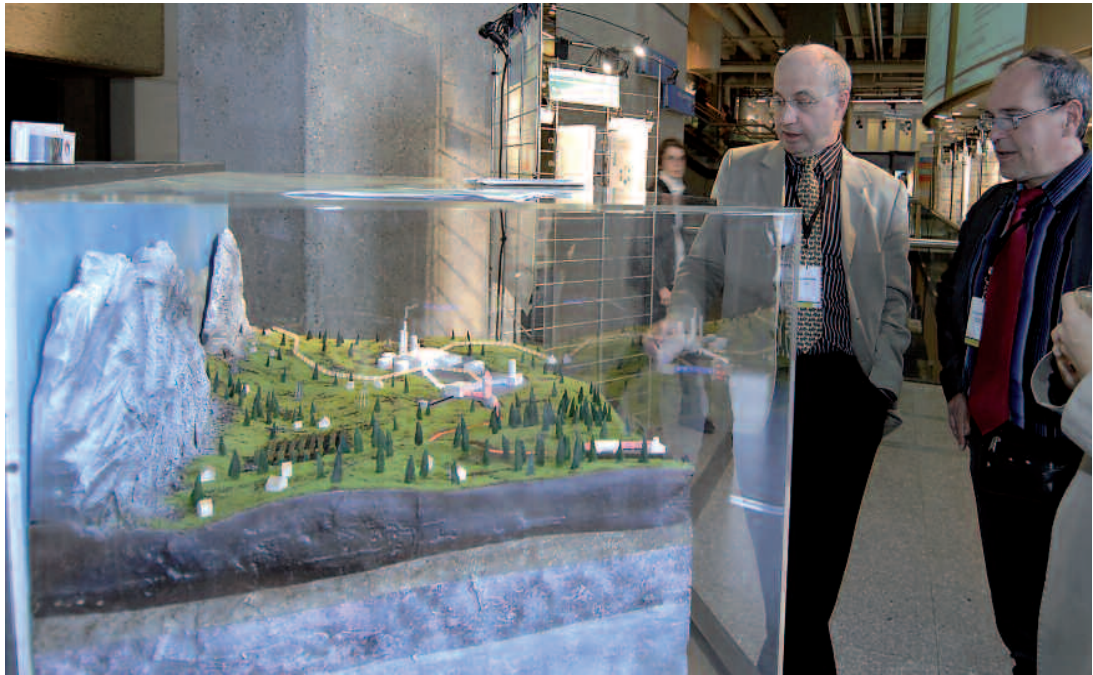
AREVA recrute 10 000 personnes par an pour répondre à la demande en installations nucléaires.

La concurrence en matière d'énergie nucléaire se joue désormais entre les états (Inde, Chine, Russie, etc.).

L'engagement public est d'augmenter les budgets de recherche consacrés aux nouvelles technologies de l'énergie, pour les rapprocher de ceux attribués au nucléaire. Cette approche dynamique évoluera peut-être vers une égalité des budgets de recherche nucléaire / EnR.

Visite de l'exposition sur les énergies du futur dans le cadre du colloque organisé par l'ANR.





Maquette du projet TOTAL de captage et de stockage du CO₂ à Lacq



Pile à combustible développée dans le cadre du projet FISYPAC intégrée dans une automobile par PSA Peugeot Citroën

2

Bilans des programmes “Nouvelles technologies de l’énergie”



Ce colloque a réuni pour la première fois toute une communauté scientifique, qui travaille sans relâche pour donner aux NTE la place qu’elles méritent, en France et dans le monde. C’était une manifestation unique, à la fois très dynamique et très technique, parfois pointue à souhait sur certains sujets de R&D technologique.

Cette rencontre a été l’occasion de débattre de questions de fond

A quoi sert l’agence ? Que fait-elle ?

Qu’a-t-elle changé dans les laboratoires de recherche et les entreprises ?

Quelle est la pérennité des programmes ?

La recherche répond-elle à l’économie ? Est-elle créatrice d’emplois ?

Quels sujets faut-il pousser ?...

Quels sont les résultats marquants des principaux projets de recherche sur les NTE soutenus par l’ANR depuis 2005 ?

Quelle est la répartition des financements ?

Quelle est la méthode d’évaluation des projets, puis des résultats ?

Comment mesurer l’efficacité des investissements ?

Y a-t-il un effet ANR ?

Quel est le retour d’expérience des porteurs de projets ?

Le monde de l’énergie bouge et les prémices d’une mutation se font sentir dans les bilans énergétiques nationaux de nombreux pays. Les NTE vont jouer un rôle central dans ce nouveau paysage énergétique, résolument orienté vers le développement durable. Elles représentent de grands enjeux, de nouveaux marchés, et portent le challenge de la “croissance verte”.

Philippe Rocher

Journaliste, animateur du colloque
Directeur du Cabinet METROL

Bioénergies



Anne Falanga

Présidente du Comité de pilotage
Directrice du programme
“Valorisation énergétique de
la biomasse” du CEA.

De 2005 à 2009, le programme Bioénergies a financé 52 projets correspondant à une aide de 103 M€ dont 40,3 M€ d'aides ANR. Son comité de pilotage associe les Ministères de la recherche, de l'agriculture, de l'industrie et de l'écologie.

Le premier axe, de recherche porte sur l'utilisation de la biomasse :

“Quelle ressource pour quelle utilisation et avec quelle technologie ?”. Du fait de sa disponibilité limitée, les recherches visent principalement à déterminer les ressources de biomasse les mieux adaptées, améliorer les rendements de transformation, et résoudre les conflits d'usage avec ses autres valorisations, notamment alimentaires.

Le second axe a trait à la conversion de la biomasse par voie thermo-chimique pour produire des biocombustibles dits de 2^{ème} génération. Son objectif est d'obtenir différents types de combustibles, liquides ou gazeux. Les efforts portent plus particulièrement sur le déploiement industriel.

La recherche sur les biocarburants du futur dits, de 3^{ème} génération, est un troisième axe davantage prospectif.

Son ambition est d'arriver à convertir efficacement la biomasse cellulosique par les biotechnologies.

Il explore l'optimisation paramétrique et fonctionnelle de la production de biogaz méthane à partir de biomasses primaires ou secondaires. Il porte également sur

la production d'hydrogène et la production directe d'électricité par dégradation biologique, enzymatique ou microbienne de la matière organique.

Le dernier axe porte sur l'évaluation des impacts sociaux, économiques et environnementaux. Il consiste en la prise en compte des aspects socio-économiques et environnementaux.

La conversion biologique concentre la moitié des aides et la conversion thermo-chimique environ 30 %. Au total, la recherche fondamentale représente 40 % du programme. L'ANR soutient notamment des projets à caractère exploratoire, tels que la compréhension physique et phénoménologique de la transformation de la biomasse en bioénergie.

L'appel à projets de 2009 a intégré le financement des recherches apportant un soutien aux développements des démonstrateurs et pilotes industriels.

Les projets ANR favorisent les partenariats entre le monde académique et les industriels.

Au sein du programme Bioénergies, se côtoient des organismes de recherche publique (CEA, CNRS, IFP, INRA, CIRAD, Universités...), de grands groupes (Air Liquide, Areva, EDF, Ethanol Union, Lesaffre, ONF, Renault, Snecma, Sofiproteol, Total...), ainsi qu'une vingtaine de PME. Des coopérations internationales via le choix de partenaires ciblés sont en train de se développer notamment avec le Brésil.

L'ANR a permis la structuration d'une "communauté biomasse", qui a atteint un niveau d'"excellence scientifique" dans le domaine de la conversion biologique.

Ce programme aide les industriels à se positionner avec les chercheurs sur des projets de démonstrateurs de recherche ou semi-industriels.

Les pôles de compétitivité montrent un grand intérêt pour ce programme, labellisant plus de la moitié des projets soutenus.

“La préoccupation de ces cinq années a été d'étendre les bioressources aux déchets, ordures ménagères, boues de stations d'épuration, biomasse aquatique...”

Réacteur de gazéification de biomasse à haute température (projets CINE-HT et INORGANIKES)



Captage et stockage du CO₂



Christian Fouillac

Président du Comité d'évaluation
Directeur de la Recherche
du BRGM

La technique du captage et stockage du carbone (CCS) est aujourd'hui en mesure de réduire de 20 à 40 % les émissions de CO₂ à l'horizon 2030.

Cette technologie permet d'utiliser le charbon dans les centrales productrices d'électricité de façon propre, et aussi d'éviter les émissions des cimenteries et des aciéries. Mais, les investissements nécessaires sont très élevés, de l'ordre de 1 milliard d'euros supplémentaires pour une centrale à charbon qui nécessite déjà 1 milliard d'euros

L'Europe a publié en avril 2009 la Directive cadre sur le stockage géologique du CO₂, qui sera traduite en droit national d'ici mi 2011. Au niveau financier, l'European Union Emission Trading System permet des permis d'émissions. Enfin, au niveau budgétaire, la Commission Européenne a décidé de soutenir financièrement le CCS dans le cadre du plan de relance européen. Cinq grands projets sont en cours.

pour sa construction. L'agence internationale à l'énergie a recommandé au G8 de construire 20 projets de démonstration dans le monde.

Deux autres appels d'offres seront également mis en œuvre pour la période 2011 et 2013.

L'Europe souhaite ainsi mettre en chantier une quinzaine de très grands démonstrateurs en Europe et arriver au déploiement industriel du CCS en 2020.

Les premières opérations industrielles de captage et stockage de CO₂ ont un coût actuel d'environ 80 à 100€ la tonne, alors que le prix actuel du marché est d'environ 13€ la tonne. Les économistes ne prévoient la convergence de ces prix que vers 2025 - 2030. Celle-ci constitue le premier challenge à relever par les filières CCS.

Quatre éléments sont nécessaires au développement industriel du CCS : la R&D scientifique et technologique, la législation et la réglementation, la démonstration, et l'acceptation sociale.

Le programme CCS 2005 - 2008 de l'ANR a renforcé sur ce thème la communauté de recherche nationale,

en fédérant les acteurs de la recherche publique et industrielle. Il visait à faire progresser la compétitivité des équipes et d'aider l'industrie à se développer dans ce domaine émergent.

De 2005 à 2008, l'ANR a reçu 91 projets. Parmi ces propositions, elle a financé 33 projets pour un montant total d'aide de 27 M€, soit un financement moyen de 700 à 950 k€ par projet. Les derniers projets se termineront en 2012.

Les recherches ont notamment porté sur les thèmes suivants :

- Captage et transport du CO₂,
- Stockage et MM&V (Monitoring, Mitigation et Vérification),
- Analyses de risque, critères de sécurité, réglementation,
- Ruptures technologiques,
- Évaluation socio-économique et environnementale, acceptabilité et légitimation sociale.

L'oxy-combustion, le captage post-combustion et le stockage en aquifère ont concentré les efforts de recherche. Le pourcentage de l'aide allouée à la recherche fondamentale est passé de 10 % en 2005, à près de 70 % en 2008.

Le programme initial a atteint ses objectifs de recherche technologique amont et a ainsi permis de préparer des projets de démonstration au niveau de la ZEP "Zero Emission Platform" en Europe et de la France grâce à un fonds spécifique mis en place par le gouvernement géré par l'ADEME

"Il est impératif de diminuer les coûts de captage du CO₂ d'un facteur 2 à 3"



Le laboratoire souterrain à bas bruit (LSBB) de Rustrel offre aux chercheurs et industriel un environnement unique d'un point de vue sismique et électromagnétique. Il est situé dans un réservoir carbonaté préfigurant un certain type de réservoir de stockage du CO₂. Le projet HPPPCO2 a choisi ce site pour la mise en oeuvre et l'étalonnage in situ de sa sonde de caractérisation.



La composition et la structure des assemblages sont deux points clé qui doivent favoriser l'efficacité du captage. Certains matériaux issus de projets ANR sont déjà en phase de tests préindustriels comme ici cette structure 4D (quatre diagonales) en carbone/carbone issue du projet GASCOGNE.

Solaire photovoltaïque



Jacques Amouroux

Président du Comité d'évaluation
Professeur honoraire de Génie
des Procédés à l'ENSCP et à
l'Université Pierre et Marie Curie

Le solaire photovoltaïque (PV) arrive à maturité. Les études financières confirment la décroissance permanente du prix du kWh PV et l'égalisation proche de ce prix avec celui du kWh résidentiel.

Au niveau mondial, le marché du PV croît de 30 à 40 % par an. En France, d'ici 2020, il pourrait représenter 150 000 à 300 000 emplois.

Les projets soutenus par l'ANR visent à développer une industrie allant du matériau de base aux systèmes installés, avec une attention particulière pour les aspects normalisation et calibration des produits et de leur performance (garantie décennale, voire trentenaire). Entre 2005 et 2007, l'ANR a financé 32 projets dans le cadre du programme "Solaire photovoltaïque", puis 10 autres projets depuis 2008, avec le programme "HABISOL 2008". Entre 2005 et 2008, l'aide ANR pour le photovoltaïque s'est élevée à 35 M€, dont environ 75 % à destination du secteur public. Les recherches portent sur quatre filières :

- Silicium cristallin, qui représente aujourd'hui 85 % du marché mondial (8 Gwc installés par an), avec pour objectif d'atteindre un rendement de 20 % et de diviser les coûts par un facteur 2 à 3 dans les 10 ans à venir ;
- couches minces, pour lesquelles le but est d'améliorer les rendements (10 % actuellement) et la durabilité (estimée à 15 - 20 ans aujourd'hui) ;
- nouveaux concepts, afin de créer des matériaux fiables à bas coût ;
- systèmes, avec l'objectif de fiabiliser

le dispositif complet : onduleur, disjoncteur, gestion informatique...

Concernant la filière silicium cristallin, le projet industriel TWIN a pour objectif de diminuer les coûts en doublant la cadence de production, tout en réduisant de moitié la consommation d'énergie. Quatre unités industrielles de tirage en continu sont aujourd'hui en fonctionnement. Le projet PHARE, quant à lui, vise l'atteinte d'un rendement de 20 %. D'autres recherches portent sur la division par deux du poids de la photopile et l'allongement de sa durée de vie à 30 ans.

Les filières couches minces représentent actuellement 15 % du marché, et devraient atteindre 25 % d'ici une dizaine d'années.

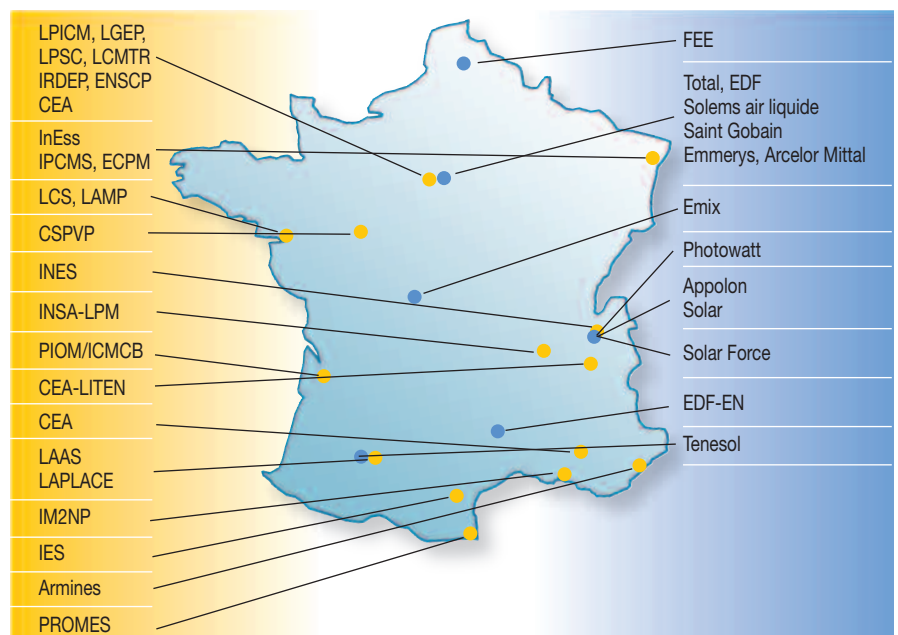
Le projet ATOS consiste à réaliser un dépôt de silicium nanocristallin, avec une vitesse de dépôt multipliée par 4, une fiabilité de matériaux liée à l'état cristallin et un rendement de conversion de 8 à 9 %. A terme, un développement industriel est attendu avec TOTAL. Parallèlement, le projet CISEL est parvenu à développer un module CIS (Cuivre-Indium-Sélénium), par électrodépôt, avec un rendement de 8,5 % sur une surface de 5x5 cm². En termes de retombées, une spin-off (NEXCIS) a été créée avec EDF Énergies nouvelles.

Avec les filières nouveaux concepts, les recherches portent sur le développement des matériaux sur des substrats flexibles, en réalisant la croissance de nanotubes de carbone (NTC) sur une matrice polymère.

Avec le projet CONAPOSOL, un rendement de conversion de 5,5 % a été atteint sur polymère-fullerène-NTC.

Enfin, les recherches sur les systèmes photovoltaïques portent sur la mesure des puissances de production (climatologie et vieillissement) et sur les défauts de fonctionnement, avec les thématiques de la gestion électronique à distance, l'entretien maintenance et la détection des panneaux défectueux. Un dernier thème concerne la gestion des flux entre les panneaux, le système et le réseau (optimisation des logiciels de gestion).

Parmi l'ensemble des acteurs du secteur, l'INES, Institut national de l'énergie solaire, joue un rôle particulier. En plus de ses trois missions principales (R&D, formation et démonstration), l'INES abrite la plateforme RESTAURE du CEA. Cet outil a permis de fédérer les savoirs universitaires développés, et de les calibrer sur l'ensemble des étapes permettant d'élaborer la photopile. Il est également propice au transfert de savoirs entre les laboratoires et l'industrie.



Les acteurs français de l'énergie solaire photovoltaïque. La recherche publique est indiquée en jaune, la recherche industrielle en bleu.

Nous sommes désormais entrés dans l'ère de l'ingénierie de troisième génération.

Les modules PV qui sortent aujourd'hui d'usine mesurent 5 m², SHARP produit même des panneaux de 12 m² et possède des unités de production de plusieurs GW.

Concernant l'électrotechnique, la France dispose d'un ensemble déterminant culturellement et techniquement, avec notamment le leadership de SCHNEIDER ELECTRIC. En matière de produit de 3^{ème} génération, la microélectronique, grâce au graphène, montre la voie. Ces matériaux permettent de répondre aux objectifs de fiabilité, de disponibilité et de développement durable. Le défi consiste maintenant à élaborer des matériaux à haut rendement et à longue durée de vie.

La Chine est actuellement leader mondial dans la fabrication des modules et sa stratégie de réflexion se situe au niveau du TeraWatt. Pour elle, le silicium sera l'élément moteur.

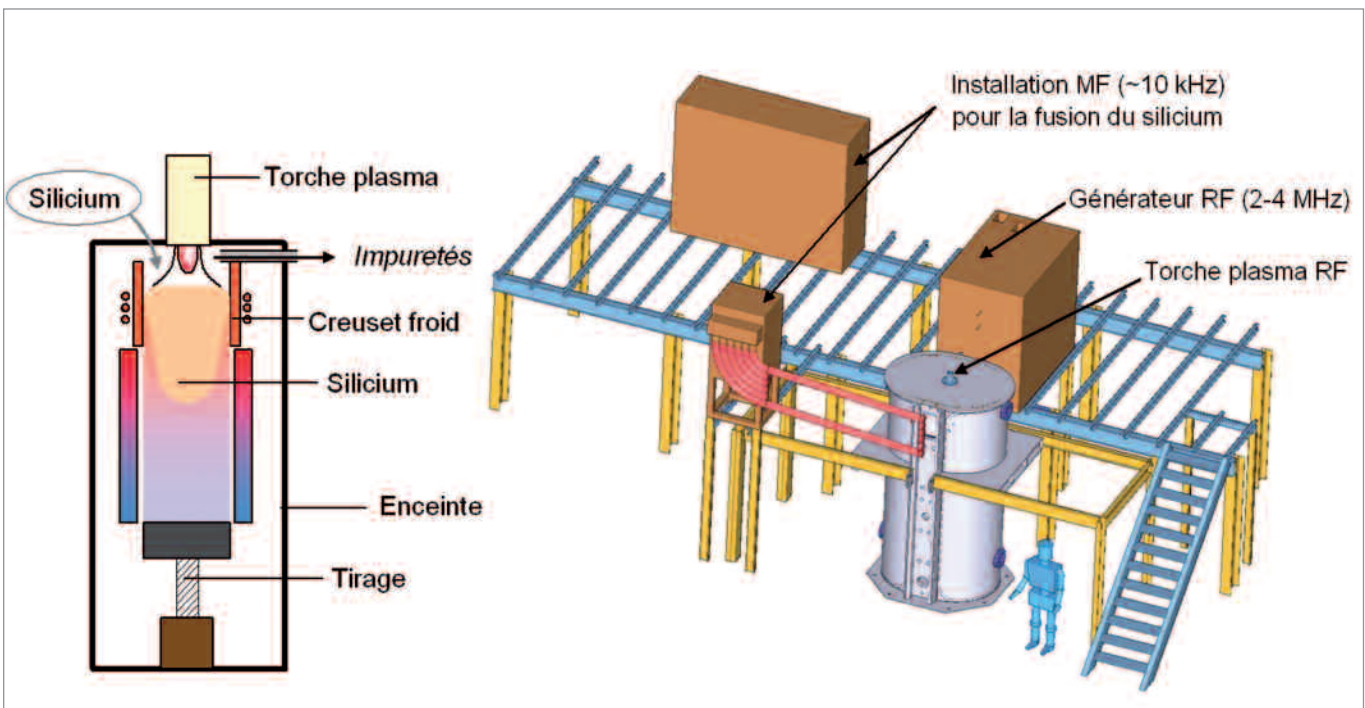
La créativité, les savoirs fondamentaux et les innovations constituent les clefs pour aborder les défis techniques, économiques et sociétaux.

Les défis majeurs portent sur la disponibilité en grande quantité des matériaux

(silicium, carbone...) et sur leur fiabilité (faible vieillissement, durée de vie de 30 ans...). La recherche scientifique française, et particulièrement l'ANR, ont un rôle déterminant à jouer pour le passage du GigaWatt au TeraWatt.

“Le développement du photovoltaïque sera demain l'équivalent pour le secteur énergétique de ce qu'a été la micro informatique pour le secteur informatique.”

Creuset froid du pilote industriel décrit sur la partie gauche du schéma ci-dessous



Conception de pilote industriel (EMIX) de purification par plasma et mise en forme par coulée continue électromagnétique en creuset froid (Projet TWIN)

Hydrogène et piles à combustible



Patrick Bouchard

Vice-Président du Comité de pilotage.
Président d'Hélion

L'hydrogène est un vecteur énergétique qui possède les avantages d'être ni polluant, ni toxique, tout en étant stockable et d'une grande densité énergétique. Si un enjeu important concerne l'hydrogène industriel (55 Mt et 120 milliards d'euros par an), l'hydrogène vecteur énergétique est un marché émergent, estimé à plus de 30 milliards d'euros pour les 10 ans à venir (hors automobile).

L'électrolyseur est le moyen de produire massivement de l'hydrogène de façon décarbonée sans émission de gaz à effet de serre, si l'électricité est d'origine renouvelable ou nucléaire. La pile à combustible (PAC) constitue "le" convertisseur à haut rendement, non polluant, qui produit électricité et chaleur.

En 2005, l'ANR lance le programme Pan-H. Le programme couvre l'ensemble de la chaîne de valeur. Les axes de recherche de Pan-H concernent plus particulièrement la production décarbonée de l'hydrogène, son stockage et sa distribution, ainsi que les piles à combustible basse température (PEMFC) et l'intégration des systèmes.

Au total, l'ANR a financé 73 projets pour un montant d'aide de 84 M€ et un budget global de 154 M€.

Le secteur public a bénéficié d'environ 60 % des financements.

En termes de bilan chiffré, les recherches dédiées à la production d'hydrogène ont reçu 16 M€ d'aide de l'ANR, le stockage 15 M€ et la PAC de 50 M€.

Plus de soixante brevets ont été déposés et aujourd'hui, l'hydrogène et les piles à combustible sont une réalité technologique affichant des performances de très haut niveau.

Un financement pérenne de la R&D est cependant toujours nécessaire, afin de réduire les coûts et d'éprouver les performances des technologies.

Les programmes de recherche de l'ANR ont permis à la France de se hisser au niveau des performances mondiales aussi bien pour les faibles puissances (1kW) que pour les fortes puissances (50 kW). L'un des progrès marquants a été l'intégration des PEM dans des systèmes complets. Ainsi, parmi les nombreuses avancées, on peut citer à titre d'illustration, celle de SPACT80 dans le domaine des piles de puissance et de la durabilité.

BALISES a étudié la production d'hydrogène couplée à des énergies intermittentes (solaire, éolien,) afin de stocker temporairement l'énergie. Récemment le projet PACSM a montré l'importance du remplacement d'un générateur conventionnel par une pile à combustible dans un robot sous-marin, étendant ainsi significativement son domaine d'exploration. MEPHISTO a étudié, au sein de la plate-forme FCLAB du centre de Belfort, le fonctionnement d'une pile à combustible dans des conditions extrêmes.

Enfin le projet FYSIPAC a développé une chaîne de traction complète intégrée pour l'automobile (Voir photo page 15). Depuis 2009, le programme Hpac a pris la suite de Pan-H.

La priorité est donnée à la production décarbonée d'hydrogène et aux applications stationnaires (gestion des énergies renouvelables et de la production décentralisée).

Les verrous scientifiques à lever concernent le stockage de l'hydrogène dans des matériaux solides, la durabilité des PAC et des électrolyseurs, et les températures de fonctionnement.

Le programme a également pour but de développer les filières industrielles françaises (matériaux innovants, intégration de systèmes, etc.).

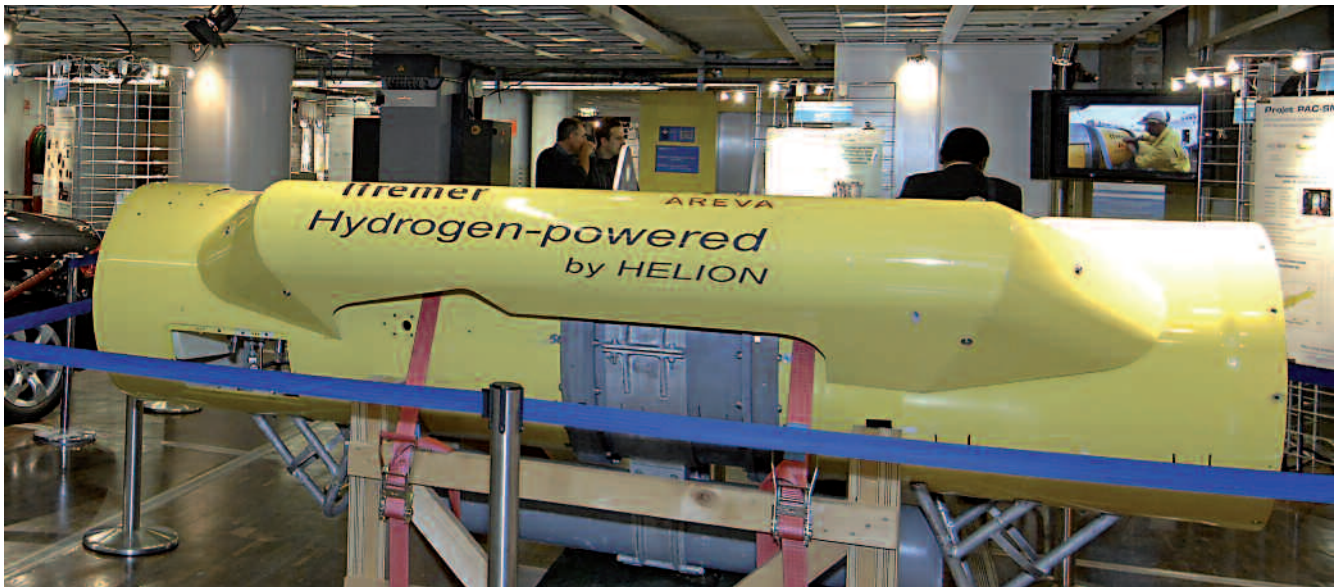
Dans un contexte de forte compétition internationale, il faut accélérer la dynamique, en développant les complé-

mentarités avec le programme de stockage de l'énergie de l'ANR (hybridation PAC/ batteries, stockage par l'hydrogène), ainsi qu'en intensifiant les relations avec les pôles de compétitivité.

"Les programmes de recherche de l'ANR ont permis à la France de se hisser au niveau des performances mondiales. Poursuivons ensemble cet effort et transformons cet acquis en réalité économique !"

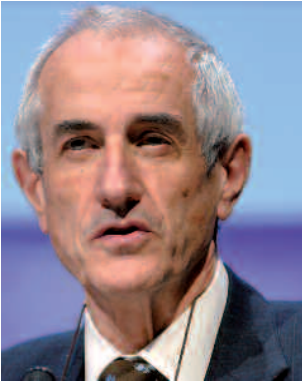


Voiture hybride équipée d'une pile à combustible fonctionnant à l'hydrogène et de batteries lithium-ion, développée dans le cadre du projet FISYPAC, coordonné par PSA Peugeot Citroën.



Sous-marin ASTER de l'IFREMER.
Projet PAC SM coordonné par HELION

Stockage de l'énergie



Daniel Cadet

Président du Comité de pilotage
Directeur de la R&D et
des relations techniques extérieures
d'ALSTOM Transport.

Le stockage de l'énergie électrique demeure aujourd'hui un verrou, pour les applications embarquées, comme pour les applications stationnaires. S'agissant du transport, cet obstacle concerne les véhicules hybrides et électriques, mais aussi les transports publics (tramway...), et les applications portables (téléphone, ordinateur...).

Le programme Stock-E, lancé en 2007, porte sur l'électrochimie (batteries, supercondensateurs), chaleur (matériaux à changements de phase, sorption), et autre types de stockage (volant d'inertie, air comprimé, supraconducteur...). Parmi les 94 propositions reçues, l'ANR a sélectionné 29 projets représentant un montant d'aide de 21,3 M€.

La répartition des aides par thème montre la place prépondérante tenue par les batteries dans ce programme. Environ 77 % des aides ont soutenu la recherche industrielle, 18 % la recherche fondamentale et 5 % les développements expérimentaux. Les laboratoires académiques ont bénéficié des aides à hauteur de 54 %, contre 27 % pour l'industrie, 17 % pour les EPIC et 6 % pour les PME.

En matière d'applications stationnaires, le stockage permettrait une large introduction des énergies renouvelables, intermittentes et décalées par rapport à la demande, dans les réseaux électriques ou pour le chauffage des bâtiments.

En matière d'électrochimie, les objectifs visent à mieux comprendre les processus

et à améliorer le vieillissement, le fonctionnement, ainsi que la gestion des batteries (au lithium, notamment). La filière des supercondensateurs travaille sur l'hybridation, sur de nouveaux électrolytes plus respectueux de l'environnement, et sur de nouveaux matériaux. Du fait de la participation aux recherches de fabricants de batteries et de supercondensateurs, les retombées industrielles sont multiples.

L'enjeu majeur du stockage de la chaleur réside dans la maîtrise du stockage géologique et dans les applications aux écoquartiers.

Les recherches portent également sur le stockage inter saisonnier de la chaleur dans les bâtiments.

Pour les autres systèmes, les objectifs sont multiples : maîtrise de la technologie des applications et du volant d'inertie, stockage magnétique supraconducteur pour impulsion d'énergie, stockage massif d'électricité par air comprimé adiabatique...

Malgré la jeunesse du programme, 6 brevets ont déjà été déposés, ou sont en cours de dépôt, pour la seule édition 2007.

En termes de prospective, les recherches vont aider l'industrie à s'orienter vers les types de stockage les mieux adaptés aux applications visées. L'approche doit désormais porter sur le "système", évoluant de la cellule vers le pack. La réduction des coûts est bien sur au centre des recherches.

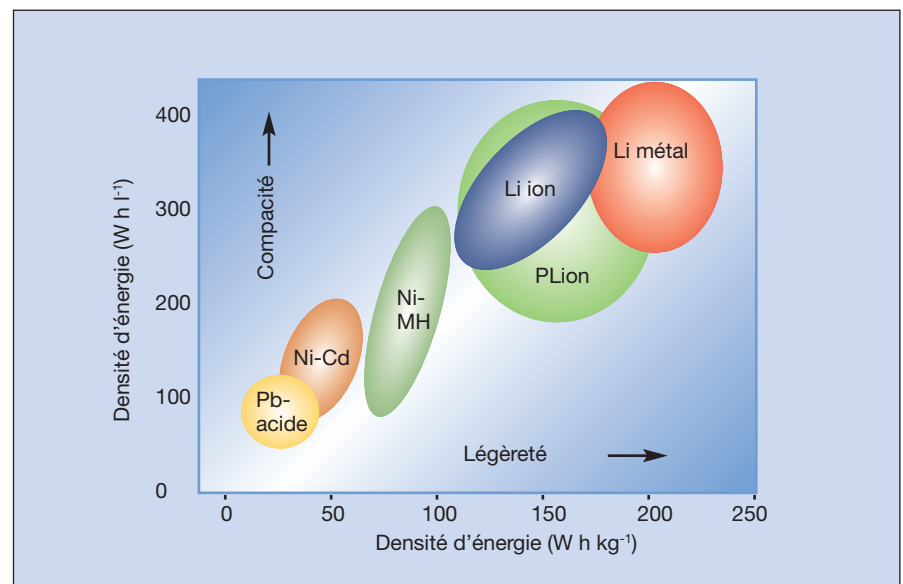
Un autre axe de recherche portera sur le stockage et la gestion des énergies embarquées dans les transports ferroviaire, naval ou aérien.

Les futurs réseaux électriques, devront intégrer de plus en plus d'électricité de sources renouvelables (solaire, éolien). L'architecture des réseaux va devoir être repensée (réseaux intelligents, maillés ou isolés, compteurs communicants).

Enfin, une dernière piste concerne la gestion locale de l'énergie dans l'habitat, le tertiaire, les sites industriels (dont les centrales de production), et dans les sites isolés, non alimentés par énergie permanente.

"Les projets soumis au programme Stock-E développent l'interaction entre le monde académique et le monde industriel."

Compacité et légèreté des batteries en fonction de la densité d'énergie stockée



3

Table ronde n°1 Les priorités de la recherche pour les NTE

Peut-on réussir le Grenelle sans une recherche musclée et coordonnée sur l'énergie ?

Comment va s'articuler notre nouveau système de recherche ?

Est-ce qu'une aventure intense se prépare ?

Comment vont se coordonner l'ANCRE – ANR – ADEME ?

Comment va s'organiser la programmation, afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de doublons ?

Quels partenariats vont se nouer ?

Les NTE vont-elle aider le développement économique ?

Quelle est la pérennité des programmes ?

Quel est le niveau de risques ?



Gabriele Fioni

Directeur scientifique en charge de l'énergie à la DGRI (Direction générale pour la Recherche et l'Innovation)

La stratégie nationale de la recherche et de l'innovation comprend plusieurs niveaux. Elle s'inscrit tout d'abord dans la logique du nouveau système français de recherche. Afin de définir les grands objectifs de ce système, les ministères concernés, les établissements de recherche, les agences et les industriels ont mené un travail de réflexion pour obtenir un document stratégique. Au second niveau du dispositif se trouvent

les agences, comme l'ANR, ainsi que les alliances. Ce niveau est consacré à la programmation (cohérente avec les objectifs définis), et au financement sur projets des activités de recherche. Enfin, au troisième niveau, figurent les opérateurs, tels les établissements d'enseignement supérieur et de recherche.

Comme le souligne le document stratégique, la France occupe le 5^{ème} rang mondial en termes de production scientifique, et la 4^{ème} place pour l'attractivité des étudiants.

La recherche française est fortement en liaison avec l'international, puisque plus de 40 % des publications sont cosignées avec des chercheurs étrangers.

Notre pays se caractérise également par des domaines d'excellence scientifique et des choix stratégiques de long terme (espace, énergie, agriculture, défense). Cependant, cette organisation est perfectible. Le système de recherche français est parfois considéré comme peu lisible, difficilement

gouvernable, et il présente un faible couplage entre économie et recherche. Ce constat a amené le gouvernement à lier intimement recherche et innovation dans sa stratégie nationale.

La santé, l'environnement, l'information et la communication ont été définis comme axes prioritaires, ainsi que les technologies émergentes (en biologie, en écologie et sur les nanotechnologies). Concernant le domaine de l'énergie et de l'environnement, la stratégie repose sur la constitution d'un mix énergétique et sur des actions menées en concertation avec nos partenaires européens. En juillet dernier, Valérie Pécresse, Ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, a convenu avec Jean-Louis Borloo, Ministre de l'Écologie et de l'Énergie, et Chantal Jouanno, Secrétaire d'État à l'Écologie, de donner une nouvelle organisation au système de recherche français dans le secteur de l'énergie. Il s'agit avant tout de mettre en réseau les expériences et les capacités.

"Il est essentiel que nos organismes de recherche, dotés d'atouts considérables, se coordonnent afin de jouer un rôle majeur en Europe."



Olivier Appert

Président de l'IFP
Président de l'ANCRE

L'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie (ANCRE), a

été créée par le CEA, le CNRS et l'IFP en juillet 2009. Il s'agit d'un réseau regroupant les organismes de recherche (ANDRA, BRGM, CDEFI, CEMAGREF, CIRAD, CPU, CSTB, IFREMER, INERIS, INRA, INRETS, INRIA, IRD, IRSN, LNE et ONERA), les universités et les grandes écoles, ainsi que de nombreux industriels du secteur.

L'ANCRE a pour mission de proposer une programmation scientifique et technique commune, cohérente avec les objectifs définis par le gouvernement dans le cadre de la stratégie nationale en matière d'énergie. Non dotée d'une personnalité morale, l'alliance s'apparente à "un club", plutôt qu'à une nouvelle structure dans le paysage de la recherche.

L'ANCRE doit mettre en cohérence le système de recherche français, afin d'augmenter son efficacité et de le préparer à la concurrence internationale.

Valérie Pécresse et Chantal Jouanno l'ont officiellement lancée le 18 septembre 2009. Sa première tâche consiste à dresser un état des lieux complet de la recherche dans le domaine de l'énergie. Ensuite, et ce travail est également en cours, il lui faudra identifier les verrous scientifiques, techniques, économiques, environnementaux et sociétaux à lever, avant de pouvoir proposer des programmes de recherche communs à ses membres. Pour garantir une valorisation optimale de ses réflexions et actions, l'ANCRE

est également ouverte à une étroite coopération avec les industriels du secteur notamment au travers des pôles de compétitivité concernés par les problématiques de l'énergie. Des relations pragmatiques seront également développées avec les agences de financement, et en particulier avec l'ADEME et l'ANR. Partant du constat selon lequel, la séparation recherche fondamentale / recherche appliquée est dénuée de sens, l'objectif de l'ANCRE est de couvrir entièrement ce continuum.

A l'horizon 2020, l'avenir du pétrole et celui de l'IFP s'envisagent à travers l'étude des besoins en technologie du secteur de l'énergie à cette échéance.

Il est d'ores et déjà clair que nous aurons besoin d'un mix énergétique propre et durable. Il est tout aussi clair que la réalisation de la transition énergé-

tique, qui est au cœur du Grenelle de l'environnement, prendra du temps à se réaliser, du fait de l'inertie de ce secteur. Aussi, à côté des énergies fossiles, qui tiendront encore une place importante dans ce mix, l'IFP consacre une part croissante de ses travaux aux nouvelles technologies de l'énergie. Aujourd'hui, celle-ci atteint déjà 50 %.

En outre, certaines des technologies développées pour les hydrocarbures peuvent être appliquées au secteur des technologies vertes, comme la production de biocarburants et le captage et le stockage du CO₂. Les recherches sur le comportement des structures pétrolières en mer pourraient également être valorisées pour le développement de l'éolien offshore.

Au niveau mondial, la France possède des "champions" dans le domaine des éco-industries, particulièrement dans les secteurs de l'eau, ou des services énergétiques (SUEZ Environnement, VEOLIA, etc.).

Sur le marché potentiellement considérable que le CCS représentera à l'horizon 2030-2050, des "champions" de premier plan se détachent déjà au niveau industriel (TOTAL, GDF-SUEZ, EDF, AIR LIQUIDE, ALSTOM, etc.), mais aussi au sein des organismes de recherche (IFP, BRGM, INERIS). Il existe une place de haut rang pour la France dans un marché international qui s'annonce déjà comme majeur.

"L'objectif de la recherche dans le domaine de l'énergie est de créer les champions mondiaux de la croissance verte."



Patrick Le Quéré
Directeur du programme
Énergie du CNRS

"La recherche sur l'énergie est une priorité pour le CNRS."

Le CNRS est le grand organisme français de recherche fondamentale pluridisciplinaire. Sa mission est d'avancer les frontières de la connaissance. Ses découvertes sont à la base des ruptures technologiques indispensables pour soutenir l'industrie en France et le secteur socio-économique.

Il emploie 26 000 personnes, dont 11 500 chercheurs et 14 500 ingénieurs

et techniciens administratifs. Son budget s'élève à 3 milliards d'euros, en y incluant les ressources propres. Avec ses laboratoires communs aux Universités nommés "UMR" (Unités mixtes de recherche), il est le premier partenaire de la recherche universitaire (120 universités et grandes écoles).

Trois pôles caractérisent sa nouvelle organisation scientifique interdisciplinaire :

développement durable au service de l'homme, organisation et maîtrise de la matière, et société en réseau.

Le contrat d'objectifs et de moyens place la recherche sur l'énergie en tête des priorités du premier pôle, mais les deux autres sont également concernés par la thématique.

Dans le domaine de l'énergie, le champ d'étude du CNRS va de la connaissance des ressources jusqu'à la réintégration durable des sous-produits issus de leur exploitation et de leur utilisation. L'objectif est de concevoir une ingénierie durable qui intègre les données environnementales dans le processus de conception et d'élaboration des produits et des services. Le CNRS se focalise sur les questions de disponibilité des ressources, de maîtrise des déchets, d'impact environnemental, de sûreté et d'acceptabilité sociale. Le projet interdisciplinaire du

CNRS se caractérise par la forte mobilisation des sciences humaines et sociales (socio-économie de l'énergie, analyse des impacts migratoires du changement climatique, etc.).

Entre 200 et 300 unités de recherche du CNRS travaillent dans le domaine de l'énergie, ce qui représente environ 10 % du budget du CNRS (près de 300 M€), ce à quoi il faut ajouter le potentiel des enseignants chercheurs.

Depuis une vingtaine d'années, le CNRS a mis en place des réseaux scientifiques nationaux, afin de structurer et de coordonner les activités portant sur une même thématique.



Hervé Bernard

Administrateur général adjoint
du CEA

Le CEA emploie environ 16 000 salariés, accueille plus de 1 500 thésards et postdocs, et abrite 51 UMR. Le CEA s'est mobilisé sur les NTE depuis plus de dix ans. L'importance des NTE a été notamment concrétisée dans la lettre de mission reçue par l'Administrateur général du CEA qui précise que l'organisme doit massivement orienter ses actions sur les énergies nouvelles et la mise en place de plateformes technologiques. Elle traduit la volonté politique de la France d'être un leader mondial de l'énergie nucléaire et des énergies renouvelables. Pour affirmer ce nouveau positionnement, le CEA a modifié son nom pour devenir le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives, tout en gardant le même acronyme.

Afin de ne pas disperser ses activités et de tenir compte des limites de son budget, le CEA a décidé de se focaliser sur le solaire, l'hydrogène, les piles à combustibles, les biocarburants de 2^{ème} et 3^{ème} générations et le stockage de l'énergie (batteries). Concernant le Grenelle de l'environnement, le CEA travaille sur le bâtiment (photovoltaïque) et le transport (stockage de l'énergie).

Le CEA est organisé pour mener des travaux qui s'étendent de la recherche fondamentale (30 % de l'activité) à la recherche appliquée. Avec sa logique partenariale, académique ou industrielle, il vise l'obtention de réalisations

concrètes et de débouchés effectifs en termes d'emploi, ainsi que la valorisation des acquis au travers des brevets. En 2008, 84 brevets ont été déposés par le CEA dans le domaine des NTE et 45 dans le domaine du nucléaire.

Le statut particulier d'ingénieur chercheur est une force qui permet de relever ce genre de défi. La réelle dynamique qui a été impulsée à l'intérieur de l'organisme s'est notamment concrétisée par la création de deux joint venture : une sur les batteries destinées aux véhicules électriques avec RENAULT, NISSAN et le Fonds stratégique d'investissement ; et une sur le photovoltaïque, nommée PV Alliance, avec EDF Énergies Nouvelles et PHOTO-WATT.

Au sein de l'ANCRE, le CEA coordonne la programmation des recherches sur les énergies, aux côtés de ses partenaires,

stratégie fondamentale pour son image internationale. L'ANCRE s'intègre naturellement à la dimension européenne au travers du SET Plan (Strategic Energy Technology Plan) et de l'EERA (European Energy Research Alliance), équivalent de l'ANCRE au niveau européen.

“Aujourd'hui, le CEA engage des dépenses sur les NTE à parité avec celles consacrées aux technologies nucléaires du futur (génération IV).”



Recherche sur l'énergie solaire photovoltaïque.
Crédit : P.F. Grosjean/CEA



François Moisan

Directeur exécutif Stratégie et Recherche de l'ADEME

A l'horizon 2050, l'objectif "Facteur 4" consiste à diviser par 4 les émissions de CO₂ dans les pays développés. Ce but ne pourra être atteint sans recourir à de nouvelles technologies, d'où l'importance d'accélérer la recherche et le développement sur les nouvelles technologies de l'énergie.

Compte tenu des délais de déploiement des technologies dans les parcs d'équipement nous devons d'ores et déjà expérimenter les technologies qui trouveront un marché à l'horizon 2020. L'ADEME a ainsi été chargée de mettre en œuvre des moyens initiés par le Grenelle de l'environnement et plus particulièrement le fonds démonstrateurs de recherche.

Ce fonds vise à valider la faisabilité scientifique, technique, économique et sociétale des options les plus prometteuses.

Pour la plupart des technologies concernées (CCS, véhicules décarbonés, énergies renouvelables, etc.), les marchés ne seront pas disponibles à court terme. La faisabilité de ces technologies doit être testée à une échelle suffisante et dans des conditions réelles de fonctionnement. Mis en place en juillet 2008, le fonds démonstrateur doté initialement de 325 millions d'euros fonctionne par appels à manifestation d'intérêt (AMI).

Les Ministères chargés du développement durable et de la recherche ont prévu la mise en place d'un Comité stratégique de la recherche sur l'énergie rassemblant les cinq collèges du Grenelle.

Six AMI ont été publiés en un an et demi sur les thématiques suivantes :

véhicules décarbonés, CCS, bio-carburants de 2^{ème} génération, énergies marines, et réseaux intelligents du futur. Les prochains porteront sur le photovoltaïque, le solaire thermodynamique, la mobilité urbaine, les bâtiments à énergie positive, les infrastructures de charge et le stockage de l'énergie.

En novembre 2009, l'ADEME avait engagé 17 projets pour un montant d'aide de 150 M€.

L'ADEME réalisera pour lui des feuilles de route stratégiques dans le domaine des NTE en rassemblant les experts d'un domaine appartenant aux secteurs public et privé. Ces groupes, déjà actifs dans le cadre du fonds démonstrateur de recherche, identifient les visions partagées du futur de chaque technologie, à l'horizon 2020 et 2050. De ces visions découlent l'identification des verrous technologiques et socio-économiques à lever et le besoin de démonstrateurs ou de recherches plus en amont.

L'ADEME animera les réflexions autour de ces feuilles de route et soutiendra financièrement les options les plus crédibles pour répondre aux enjeux du climat et de l'énergie.

"En période de crise économique, la forte attractivité du fonds démonstrateur montre qu'il répond à une attente des entreprises en France puisque plus d'un milliard d'Euros de projets de recherche ont été déposés en réponse aux appels à manifestation d'intérêt."



Jacqueline Lecourtier

Directeur général de l'ANR

Dès 2005, l'ANR a été conçue comme un lieu de convergence. Dans chacun des domaines, l'ANR essaie de faire dialoguer des acteurs du secteur public ou privé, voire de la société civile, afin de tenir compte de la composante sciences humaines et sociales. Dans cette optique, l'ANR se félicite de voir se créer des alliances, qui lui permettent de recevoir des propositions coordonnées.

Le Conseil de Prospective de l'ANR s'appuie sur le travail des comités sectoriels et possède une forte composante économique.

Un des apports majeurs de l'ANR, qui ne représente que 8 % du financement du système de recherche, réside dans cette approche pluridisciplinaire et inter domaine.

En 2009, plus de 13 % des projets de l'ANR ont été cofinancés par des agences internationales. Le volet international représente une voie d'accélération des activités de l'agence, qu'il faut encourager. Dans le domaine de l'énergie, quelques essais ont été réalisés avec l'Allemagne, sur l'hydrogène, ou avec le Brésil sur les bioénergies. La volonté de l'agence d'ouvrir ses activités à l'international est forte.

L'ANR souhaite associer étroitement les industriels à la réflexion stratégique. La réorganisation de sa programmation, demandée par la Ministre de la Recherche, va dans ce sens : le programme non thématique, récemment

créé et regroupant la moitié des financements, a pour objectif de faire émerger les concepts, les idées et la préparation des innovations de demain. Les programmes thématiques pour 2010 seront focalisés sur le partenariat public-privé et sur l'accélération de la recherche sur des domaines ciblés.

Dès sa création, l'ANR a développé un partenariat étroit avec l'ADEME sur les technologies de l'énergie.

Une fois que des démonstrateurs seront lancés, cette collaboration perdurera et aura pour objectif de développer des projets de recherche pour les accompagner. Au cours de ces phases pilotes, déterminantes pour les débouchés en termes de marché, des problèmes non anticipés apparaîtront certainement et requerront la mise en place de tels projets.

Les pôles de compétitivité représentent une autre catégorie d'acteurs proches de l'ANR. Créés en même temps que l'agence en 2005, ils ont été ses partenaires privilégiés dès l'origine. Plus de 53% des projets sur l'énergie sont labellisés par des pôles. Un séminaire les rassemble tous les ans, au sein duquel ils peuvent exprimer à l'ANR leurs besoins en recherche. Ils sont également associés au processus de programmation, notamment via leur participation aux comités scientifiques ou sectoriels ou de pilotage de l'agence. En outre, ils interviennent lors des colloques bilan, organisés par l'ANR.

L'Agence est un observatoire de ce qui se passe dans le monde de la recherche et de la technologie en France.

L'évolution actuelle montre que la recherche s'organise au niveau local et que les pôles de compétitivité montent en puissance, avec une participation croissante des PME.

4

Table ronde n°2 Perspectives et challenges pour l'industrie

Qu'attendent les industriels impliqués ?

Que viennent-ils chercher dans les projets ANR ?

En quoi l'ANR a-t-elle changé la donne ?

Le système mis en place leur donne-t-il les moyens d'être compétitif à l'international ?

La recherche répond-elle à l'économie ?

Est-elle créatrice d'emplois ?

Le Grenelle s'installe dans le quotidien des acteurs industriels. Quel est le challenge ?

Quels partenariats vont se nouer pour mener à bien les programmes de R&D sur les NTE ?



Marc de Witte

Directeur adjoint de la recherche et de l'innovation de GDF - SUEZ

Le groupe GDF - SUEZ compte 200 000 collaborateurs, dont 135 000 dans le secteur de l'énergie et 65 000 dans celui de l'environnement. Son chiffre d'affaires s'élève à 83 milliards d'euros, réalisé à 90 % en Europe. Côté recherche, l'effectif est de 1 200 chercheurs, dont 800 dans l'énergie, répartis sur 8 centres de recherche. Les priorités de GDF - SUEZ en matière de recherche et d'innovation portent sur la production d'énergie à faible contenu de CO₂, le CCS, le stockage de l'énergie, et l'habitat (énergies nouvelles intégrées, micro cogénération, réseaux intelligents, transport durable).

Le groupe possède une longue tradition de coopération, notamment avec les universités et les pôles de compétitivité.

Il est impliqué dans plus de 30 projets avec l'ANR (CCS, PAN-H, bioénergies), dont 10 pour lesquels il est coordinateur. Les aides de l'ANR ne représentent qu'un faible pourcentage du budget R&D du groupe à 200 M€, dont la moitié pour l'énergie. Plus que des financements, le groupe trouve dans ces projets une collaboration multidisciplinaire, porteuse d'effets de levier pour ses recherches fondamentales.

Les projets les plus emblématiques du groupe portent sur les bioénergies, pour lesquelles le thème de la conversion thermochimique de la biomasse est particulièrement suivi. Dans le domaine de l'hydrogène, appréhendé comme vecteur énergétique, GDF - SUEZ est leader du projet ANAPUR, qui vise la

mise au point d'un protocole d'analyse des composés organiques et inorganiques présents à l'état de traces dans les gaz de synthèse.

Il est également fortement impliqué dans le projet HYDROMEL, qui évalue les risques du transport d'hydrogène énergie pur ou en mélange avec le gaz naturel. Dans le secteur du bâtiment, le projet PREBAT 4 permet à l'énergéticien d'étudier la requalification de l'enveloppe et des systèmes énergétiques des constructions des années 50 et 60. Enfin, concernant le CCS, le groupe suit plusieurs projets : PICOREF, Carbonatation, ingénierie et monitoring, etc. Dans le cadre du plan de relance européen, un démonstrateur CCS de 150 MW est en cours de développement en Hollande.

Actuellement, le mix énergétique de GDF - SUEZ est composé de 21 % d'énergies renouvelables (hydraulique comprise). Les bioénergies représentent une composante importante, du fait de la co-combustion dans les centrales à charbon. Concernant l'éolien, plusieurs centaines de MW sont prévus en France à l'horizon 2015, et 650 MW en Belgique. La volonté de conserver cette proportion d'énergies renouvelables représente un objectif ambitieux.

La puissance de production installée du groupe s'élève aujourd'hui à 68 GW et vise les 100 GW. Cette croissance prévue implique des investissements considérables dans les filières renouvelables pour les années à venir. Grace à la composition internationale du groupe, ce mix s'applique également au niveau géographique, c'est-à-dire en tenant compte des spécificités régionales en termes de potentiel.

"GDF - SUEZ souhaite maintenir une part de 20 % minimum d'énergies renouvelables dans son parc de production."



Gilles Cochevelou

Directeur R&D gaz et énergies nouvelles de TOTAL

L'humanité consomme annuellement 11 milliards de tep pour 6 milliards d'habitants, soit 2 tep/an/habitant environ. Cette moyenne masque de fortes disparités : les Américains consomment 8 tep/an/hab., les pays de l'OCDE 4 tep/an/hab., les Chinois 1,6 et les Indiens 0,5. Si l'on estime que certains pays vont réduire leur consommation et que d'autres vont l'augmenter, afin d'asseoir leur développement, ce ratio devrait converger vers 2 pour tous les pays. En 2050, les projections démographiques tablent sur une population mondiale de 9 milliards d'habitants. Cela induit une consommation de 18 Gtep. En plus de cette contrainte d'approvisionnement, la contrainte climatique impose que les émissions de CO₂ en 2050 ne dépassent pas 12 milliards de tonnes par an pour le secteur de l'énergie, soit la moitié des émissions actuelles. Cette limite n'autoriserait la consommation que de 4 à 5 Gtep d'énergie fossile sans captage/stockage de CO₂. TOTAL a identifié trois secteurs permettant de répondre aux différentes contraintes et correspondant à ses compétences historiques :

le solaire, la biomasse et le charbon "propre".

La R&D dans les énergies nouvelles a été mise en place en 2008 sur un modèle totalement partenarial, c'est-à-dire sans création de centre de recherche. La stratégie de Total consiste à travailler en partenariat avec des centres d'excellence dans le monde entier, en associant tout financement à l'envoi de chercheurs sur place.

S'agissant du solaire, le groupe est historiquement présent dans le silicium cristallin avec l'IMEC, centre de recherche sur la nanotechnologie et la nanoélectronique établi à Louvain en Belgique. Concernant les couches minces, le projet ANR ATOS (Association Tandem Optimisée pour le Solaire) a initié un partenariat avec le LPCIM (Laboratoire de Physique des Interfaces et Couches Minces).

Cette collaboration devrait déboucher sur le développement d'une plateforme équipée de modules d'un m², destinés à préparer la phase d'industrialisation.

Le groupe est également présent dans les matériaux solaires polymères, via une prise de participation dans la société américaine Konarka et l'affectation de deux chercheurs.

En lien direct avec ses recherches sur l'énergie solaire, Total investit dans la problématique du stockage de l'énergie. Le groupe a monté un projet avec le MIT (Massachusetts Institute of Technology) pour lequel un financement a été alloué et un accord de propriété intellectuelle signé. Une équipe de huit chercheurs, dont deux du pétrolier, travaille sur la mise au point d'une batterie stationnaire permettant de gérer au mieux l'énergie fournie par l'électricité solaire.

Pour Total, l'apport de l'ANR est triple. Elle facilite la recherche exploratoire de projets, offre un lieu de convergence aux nombreux acteurs du monde de la recherche et de l'innovation, et prépare aux développements industriels futurs. Cependant, il conviendrait de sécuriser assez vite la propriété intellectuelle, afin que les intérêts des différentes parties soient mieux protégés en phase d'application industrielle.

Dans le domaine de la carbochimie (charbon liquéfié ou "coal to liquid"), l'énergéticien a signé un accord avec l'IFP sur une brique technologique.

En termes de comparaison des systèmes nationaux de recherche, un professeur de laboratoire aux États-Unis, par exemple au MIT, est quasiment

un "businessman". En permanence sur la sellette, il doit trouver les sources de financement et les projets qui attireront les meilleurs étudiants.

Le fonctionnement de la recherche repose ainsi sur une spirale vertueuse. En outre, le modèle américain de création de start-up est très au point. Même s'il serait bénéfique pour la recherche française de s'inspirer de ce dynamisme, la qualité et la compétitivité des chercheurs et étudiants français est indéniable. La France ne doit donc pas être complexée, même si son organisation administrative de la recherche pourrait être améliorée.

"A l'horizon 2050, environ 13 Gtep (sur 18 Gtep de consommation globale) devront être produites de manière non carbonée. Ce défi de grande ampleur laisse une immense place à l'innovation et la recherche."



Rémi Bastien

Directeur de la recherche et des études avancées sur les matériaux de Renault

Carlos GHOSN, Président de Renault et de Nissan, ambitionne que les véhicules électriques représentent 10 % des ventes d'ici 2020. Plusieurs sortes de niches vont être exploitées. La première est géographique ; il s'agit d'Israël. Le pays constitue une "île automobile", car ses frontières ne sont pas franchissables en voiture et les parcours sont inférieurs à 100 km.

La volonté politique de ne pas dépendre du pétrole y est forte.

Cette première application portera sur 20 000 à 30 000 véhicules par an. L'objectif est d'atteindre un prix de vente accessible aux clients. D'autres applications concerneront les véhicules de flotte et les véhicules utilitaires (EDF, La Poste, etc.).

En Israël, cette préoccupation des clients va être résolue grâce au système "Quick drop", qui consiste en l'échange d'une batterie déchargée contre rechargée, en moins de trois minutes, dans une station dédiée.

L'exploitation de ces niches permet à Renault de démarrer sa courbe d'apprentissage. Des progrès doivent maintenant être réalisés en termes d'autonomie et de rayon d'action.

A plus long terme, les recherches concernent la maîtrise des charges rapides, n'altérant pas la durée de vie de la batterie. Le constructeur automobile promeut actuellement un business model composé de la vente de la voiture

sans la batterie, de la location de la batterie et de l'achat l'énergie.

A long terme, l'atteinte de l'objectif zéro émission prendra plusieurs voies :

les véhicules électriques à batterie, les piles à combustibles pour la fin de la décennie 2020, et l'hybridation. La joint venture créée avec Nissan, le CEA et le Fonds stratégique d'investissement, permettra que la technologie développée au Japon soit utilisée dans une chaîne de fabrication implantée à l'usine de Flins (78). Dans le secteur des batteries, Renault s'est associé au CEA et à son réseau de recherche pour allonger la durée de vie des batteries et baisser les coûts.

"D'ici 2020, le prix d'un véhicule électrique et son coût à l'usage (batterie + électricité) équivaldront à celui d'une voiture conventionnelle et à l'achat du carburant aux conditions actuelles."



Voitures électriques Renault Kangoo, Zoé et Twizy. (De haut en bas).





Martha Heitzmann
Directrice R&D du groupe
Air Liquide

Air Liquide porte un grand intérêt à l'efficacité énergétique de ses propres opérations, mais aussi de celle de ses clients.

De nombreuses recherches sont menées sur les énergies renouvelables, tels les biocarburants (gazéification des matières lignocellulosiques), ou le photovoltaïque (gaz contenu dans les panneaux), ainsi que sur l'hydrogène énergie. Air Liquide est également actif dans le domaine du captage et stockage, notamment avec la technologie d'oxycombustion. Une partie de ces activités est développée en collaboration avec l'ADEME et l'ANR.

L'innovation est au cœur de l'entreprise depuis sa création en 1902. Elle considère ses centres de recherches comme des "têtes de pont" pour établir des partenariats avec des industriels, des agences de financements et des universités.

La tendance actuelle est à l'innovation ouverte : Air Liquide travaille de plus en plus avec des acteurs externes, comme les PME, les grandes entreprises et les laboratoires de recherche.

L'innovation est aussi plus complexe et les projets de recherche de l'ANR permettent au Groupe de tisser des liens et de tester des partenariats potentiels. Enfin, l'innovation est plus rapide. Cela est vrai non seulement pour le photovoltaïque, cousin proche des semi-conducteurs, mais aussi pour les secteurs à cycle d'innovation traditionnellement lent, comme les chaudières

ou les équipements lourds de combustion. Les partenariats permettent de mieux gérer les coûts et risques inhérents, tout en aidant les acteurs à partager leurs connaissances pour progresser plus vite.

Le niveau des chercheurs français est équivalent à celui de leurs homologues américains. Un grand retard a été pris outre Atlantique depuis le début des années 80. L'Europe est ainsi en avance sur eux dans les domaines du photovoltaïque et de l'hydrogène.

Toutefois, étant donné leurs capacités d'investissement et l'organisation pragmatique de leur recherche, les Américains sont aujourd'hui capables de revenir très vite. Des institutions comme l'ANR, qui permettent de réunir des acteurs privés et publics, PME et grands groupes, ne peuvent qu'aider la France dans cette course mondiale à l'innovation. Les programmes thématiques de l'ANR représentent un aspect primordial de la recherche en France, car ils focalisent sur des thématiques considérées comme prioritaires et peuvent impulser des effets de levier considérables.

C'est en identifiant les secteurs où la France a une forte valeur ajoutée à apporter que l'on pourra mettre le pays sur le devant de la scène mondiale.

La collaboration internationale est l'un des leviers les plus efficaces pour développer l'excellence et l'innovation. Il faut noter par exemple que si l'Allemagne et la France décidaient d'unifier leurs efforts de recherche, les deux pays dépasseraient le Japon, actuellement deuxième au monde dans ce domaine.

"Véritable plateforme fédérative, l'ANR est très appréciée du groupe Air Liquide, car elle lui permet, notamment à travers les comités de pilotage, de rencontrer les acteurs et de confronter les idées."

5

Table ronde n°3 Les PME et l'ANR

- L'ANR est-elle un outil adapté aux PME ?
- Qu'attendent-elles ?
- Que retiennent-elles de l'expérience ?
- Quels sont ses atouts et ses attraits pour elles ?
- Quelles sont ses limites ?
- Le formalisme de l'outil est-il plus abordable que celui de l'UE ?
- Qu'est-ce que l'ANR change pour les PME à l'international ?
- Reste-t-il de réelles opportunités pour les entreprises françaises sur les NTE ?
- Quelle pourrait être leur contribution à la réalité économique, industrielle et sociale des NTE ?
- Comment booster les programmes de R&D des PME Energie ?



Thierry Lefebvre
Président Directeur Général
de Sun Land 21

Sun Land 21 est une PME basée dans le Rhône. Elle offre des solutions techniques en solaire, allant de la fourniture "sèche" des modules ou panneaux, jusqu'à la centrale solaire intégrée clefs en main, de type BIPV (Building Integrated Photovoltaics). Pour cette société, l'ANR est un outil parfaitement adapté aux PME. Les fonds de l'agence lui ont permis de mener des recherches et d'effectuer des développements exploratoires.

Le cœur de métier de Sun Land 21 est le solaire intégré au bâti, car son PDG croit en la production d'énergie décentralisée. Les enveloppes des bâtiments offrent des surfaces gigantesques à traiter avec des matériaux performants.

Sun Land 21 a coordonné le projet ROLL PV, qui avait pour objectif d'offrir des composants BIPV de qualité architectonique compétitifs vis à vis de solutions PV surimposées. Les conflits

d'espace qui existent dans les bâtiments nécessitent une forte puissance par m². C'est pourquoi l'entreprise a choisi de ne travailler que des éléments plaquet-taires rigides, c'est-à-dire des cellules cristallines recouvertes d'une plaque de verre trempé. Certes le process est plus complexe que celui nécessaire à la production de films souples ou de moquette, mais la puissance au m² est nettement supérieure. Aujourd'hui, une puissance de 140 W/m² est atteignable avec la filière du silicium cristallin (projet TWIN).

Afin de remettre en place en France un tissu d'entreprises industrielles, de 250 à 500 salariés, qui soit puissant et efficace, l'ANR doit être renforcée dans ses actions. Il est nécessaire de ne pas mettre les PME en danger en leur faisant déposer des brevets trop vite et trop tôt, mais aussi de les protéger des contraintes imposées par les grands groupes, également présents dans les projets collaboratifs. Une jeune entreprise qui part de zéro avec de bonnes idées a intérêt à vivre cachée pour assurer son développement.

Les banques ne sont pas armées pour appréhender en temps réel l'avancement des projets d'une entreprise qui débute et n'a pas de produits commerciaux à vendre. Parallèlement, la question de la taille critique des fonds démonstrateurs se pose, afin de savoir s'ils sont dotés des budgets nécessaires pour développer les applications commerciales avec

l'efficacité qui est attendue d'eux. Enfin, l'analyse la plus critique de la PME porte sur les relations entretenues avec les compagnies d'assurance. Le PDG est interpellé par "la civilisation de la garantie" et juge la situation grave pour les entreprises innovantes. Le secteur du bâtiment est, pour lui, sur-réglementé, ce qui implique de grandes difficultés pour introduire des technologies touchant à l'intégration de composants électriques ou électroniques. De telles innovations sont difficiles à faire accepter aux banquiers, comme aux assureurs.

La course à la garantie qui sévit actuellement dans le secteur photovoltaïque tire le niveau vers le bas.

A titre d'exemple, la garantie décennale n'a pas résolu les problèmes de sinistralité en France. On ne construit pas mieux en France qu'en Allemagne, ou en Angleterre, où cette garantie n'existe pas. En tant que scientifiques, beaucoup de dirigeants de PME sont capables de développer des projets collaboratifs avec le CEA, le CSTB et les organismes de recherche publique. Ensemble, ils possèdent les compétences pour qualifier des systèmes complexes sur les plans mécanique, chimique et physique et n'ont pas besoin des assurances pour offrir des garanties industrielles.

"Le bâtiment est un vecteur de développement fantastique du solaire photovoltaïque. Je refuse de consommer deux hectares de terrain pour installer 1 MW de puissance."



Ulysse Michon
Directeur R&D d'Europlasma

Europlasma, entreprise basée en Gironde, est leader européen des procédés plasma industriels, avec un produit phare : la torche à plasma. La société est spécialisée dans la vitrification des REFIOM (Résidus d'épuration des fumées d'incinération des ordures ménagères) et des déchets d'amiante. Elle travaille sur la production d'électricité et de carburants de synthèse, à partir de déchets. La vitrification a bénéficié d'aides d'Oseo et cinq années ont été nécessaires pour que ce procédé obtienne des résultats. Cette technologie a ensuite été vendue au Japon, car peu

de perspectives s'offraient en France. Dès 2005, l'entreprise a cherché des voies d'application massives au plasma thermique afin de le sortir de sa confidentialité.

En tant que PME, la question récurrente porte sur le résultat qui sera obtenu en fin d'année. C'est lui qui conditionne la possibilité ou non d'investir en R&D en interne. Dans ce contexte, Europlasma a choisi d'externaliser ses activités scientifiques et prospectives auprès du CNRS et du CEA.

A travers l'ANR, la société souhaite développer une brique technologique pour la production d'électricité, d'où le projet Turboplasma, qui a débuté en janvier 2010. Cette brique technologique sera fragile, car rien n'indique qu'elle trouvera un marché à l'issue des trois ans. C'est pourquoi la société a pris les devants et a elle-même créé le besoin, via la constitution d'une société d'ingénierie, nommée CHO POWER. Cette dernière va construire une usine qui utilisera cette brique technologique.

Ce montage permet à la PME de structurer sa recherche avec un niveau scientifique et une excellence issus des collaborations développées au sein de l'ANR. Ceci, tout en cherchant du capital risque, afin qu'une preuve industrielle puisse être apportée.

La grande difficulté pour une PME est de suivre un cycle d'apprentissage de la R&D. L'objectif est de faciliter les rencontres entre les laboratoires et les PME, qui ont tendance à s'isoler et à se protéger dans leur phase de développement. A l'inverse, les chercheurs ont pour but de disséminer leurs connaissances. Une adéquation doit donc être trouvée entre ces deux logiques à première vue opposées. Toutefois, grâce à l'évolution des mentalités et à l'expérience accumulée, la PME girondine présente aujourd'hui un projet en tant que leader. Pour les PME, une stratégie gagnante consiste à trouver un "stratopontin" au sein de l'ANR, afin d'apprendre. Europlasma dispose depuis 2006 d'une équipe entièrement consacrée à la R&D, condition sine qua non pour pouvoir préparer son avenir.

Ces deux journées de colloque ont parfaitement mis en lumière l'urgence

planétaire à trouver des solutions aux défis climatiques et énergétiques. Pour les grands groupes, ces solutions doivent être massives, ce qui évince les apports des PME.

La priorité de celles-ci consiste donc à atteindre une taille suffisante, afin de devenir un acteur sérieux dans leur domaine.

Une fois de plus, les PME doivent faire leurs preuves et se structurer. Une route doit alors être tracée pour enchaîner les mises à l'échelle, tout en fixant la vitesse à laquelle la parcourir.

"Merci aux laboratoires qui viennent chercher les PME, car elles découvrent ainsi la structuration des programmes pendant trois ans et peuvent ensuite devenir leader."



Olivier Perrier

Directeur général de RAIGI SAS

RAIGI SAS est une PME basée en Eure-et-Loir, ancienne filiale de Shell-chimie devenue entreprise familiale en 1999. La société est spécialisée dans les plastiques thermodurcissables du type polyuréthane et résines époxy, pour lesquels elle conçoit la formulation, puis moule (ou rotomoule) des objets de quelques kilos à plusieurs tonnes.

Au départ, quand l'entreprise apprenait à devenir autonome en R&D, Oseo l'a aidé à monter ses projets, de tailles relativement modestes.

Elle a ainsi travaillé à l'époque avec une école d'ingénieurs qui, parallèlement, collaborait avec le CEA sur une problématique liée au rotomoulage. La PME a alors été entraînée dans un projet ANR. Il convient donc de distinguer le support apporté par les deux organismes. Les aides d'Oseo concernent les projets requérant peu de partenariat et de compétences externes, et dont l'entreprise ne souhaite pas partager le développement. L'ANR mets en relation des acteurs, qui donne des résultats plus importants. La majorité des projets n'auraient pu être menés par un acteur unique.

Concernant l'évolution de l'ANR, l'État doit veiller à ce que ses différentes aides ne se télescopent pas. Aujourd'hui, par exemple, le crédit d'impôt recherche affaiblit l'attractivité des programmes ANR. Le principal grief qui pourrait être adressé au fonctionnement actuel concerne le délai nécessaire au démarrage des projets, qu'il conviendrait de réduire d'au moins un trimestre.

RAIGI SAS travaille actuellement sur deux projets :

des liners pour réservoirs d'hydrogène fonctionnant à 700 bars et des plaques bipolaires en polymère conducteur pour les stack de pile EME.

L'objectif de la PME porte désormais sur la traduction industrielle de ses activités.

En termes de collaboration avec les pôles de compétitivité, du fait du contexte, l'entreprise aurait pu vivre sans le pôle S2E2 de la Région Centre. De fait, les relations de la PME avec le CEA ont été développées avant la création du pôle. Toutefois, les pôles de compétitivité ont un rôle à jouer dans la mise en réseau des acteurs et dans le recrutement de nouvelles PME.

Concernant les réservoirs, RAIGI est associée à un programme OSEO mené par Air Liquide. Pour les plaques bipolaires, des besoins relativement pressants émanent de plusieurs industriels, entraînant très certainement des mises en production d'ici 2010.

6

Table ronde n°4 Perspectives et challenges pour la recherche

Quelles sont les perspectives d'évolution des programmes de la recherche française sur les NTE ?

Quelle place réserve la Stratégie Nationale de Recherche et d'Innovation aux NTE ?

Quelle est la pérennité des programmes ANR ?

Quels sujets faut-il pousser ?

Quelle synergie peut-il y avoir avec les Pôles de compétitivité ?

Quelle articulation entre l'ANR et les autres systèmes d'aide ?

Faut-il des programmes nationaux en plus du 7ème PCRD ?

Comment cela se passe-t-il dans les autres pays européens ?

L'ANR met-elle de l'ordre dans les programmes ?

L'ANR est-elle un catalyseur attendu par les opérateurs ?

Va-t-elle dans le sens de l'histoire ?



Jean-Marie Tarascon

Professeur à l'Université de Picardie et Membre de l'Académie des Sciences

Dans le domaine des accumulateurs, la technologie ion-lithium, âgée de vingt ans et majoritaire aujourd'hui, a vu ses capacités volumétriques et gravimétriques doubler sur la période. La question de la sécurité de l'intégration de ces batteries dans les applications embarquées doit être réglée pour que le véhicule électrique puisse se développer.

Viennent ensuite les problèmes de performance, d'autonomie et de coût. Une recherche innovante doit donc être menée sur les matériaux, et celle-ci doit tenir compte des contraintes imposées par le développement durable. La situation idéale consisterait à obtenir les matériaux à partir de la biomasse ou de produits naturels. Via des procédés de "chimie verte", ces derniers pourraient être transformés en électrodes, puis utilisés, pour enfin être recyclés grâce à l'énergie du soleil.

A partir de cette situation parfaite, trois pistes de recherche prioritaires ont été définies : le développement de nouvelles méthodes de synthèse, l'utilisation d'électrodes renouvelables organiques, et l'exploration de systèmes n'utilisant pas de lithium.

Concernant le développement de méthodes de synthèse eco-efficaces, l'objectif consiste à diminuer la quantité d'atomes et à travailler à basse température. Une méthode innovante, la synthèse en liquide ionique, a été mise au point. Elle a permis de découvrir de nouveaux composés d'électrodes. Pour le moment, les coûts associés à cette technique sont élevés, d'où un retour à la chimie du vivant pour essayer

d'améliorer ces méthodes. Depuis des millions d'années, le vivant sait fabriquer des nanostructures par des procédés de bio-minéralisation, à température ambiante. **C'est pourquoi les approches "bio-mimétiques" ont le vent en poupe.** Elles permettent d'envisager des électrodes à partir de matériaux naturels, ainsi que des batteries virales.

La question centrale relative au stockage électrochimique de l'énergie porte sur le lithium. Or, la recherche a permis de proposer des alternatives. Le sodium, par exemple, ne donnera pas des accumulateurs aussi compétitifs, mais sa ressource n'est pas menacée.

Récemment, quelques nouvelles technologies sont apparues, telle celle de A123, développée à partir des nanotechnologies et basée sur une nouvelle chimie, le phosphate de fer lithié (Li-FePO₄). D'ici 25 ans, l'avenir des batteries reposera sur les technologies intégrant les contraintes du développement durable, telles les cathodes organiques et les systèmes au sodium, technologies qui n'améliorent pas les performances, mais ne posent pas de problème de disponibilité de ressources.

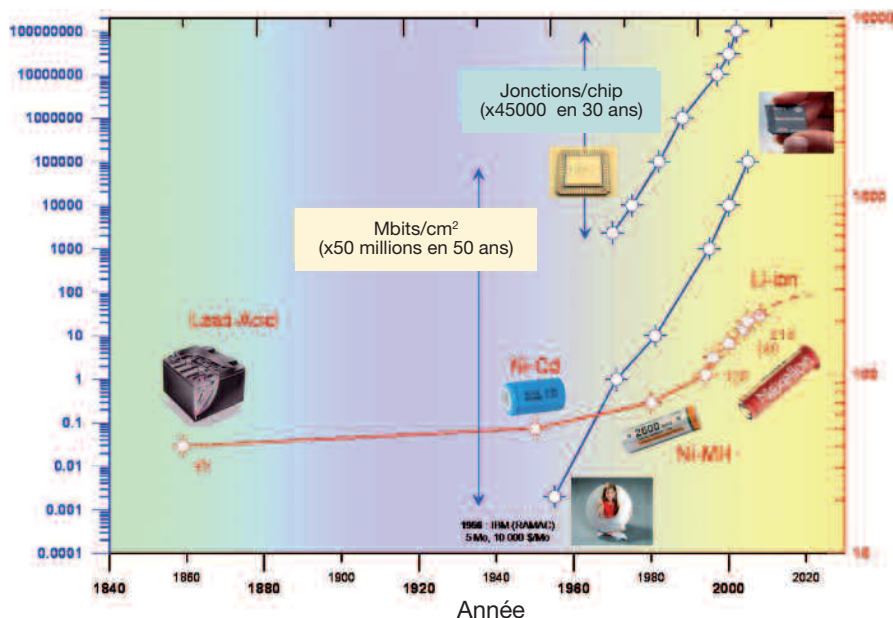
A plus long terme, les technologies lithium-soufre et lithium-air se développeront et gagneront en performance avec, au maximum, un doublement de la densité énergétique.

S'agissant des supercondensateurs, plusieurs pistes de recherche sont exploitées, mais ils ne pourront jamais remplacer les batteries. Les travaux les concernant portent sur l'amélioration de l'autonomie aux dépens de la puissance. A l'inverse, les recherches sur les batteries cherchent à diminuer l'autonomie pour faire progresser la puissance. Ces recherches ne mèneront à la réussite que si l'on suit une démarche dispositifs - systèmes. Le passage du matériau à l'application est un procédé en chaîne qui requiert que chaque maillon soit validé avant de passer au suivant. Il nécessite une intégration constante des résultats, une approche multidisciplinaire et une recherche intégrée.

L'ANR a été un excellent véhicule pour fédérer la recherche. Toutefois, l'expert international en batteries se demande ce qu'il faut faire pour que les industriels français croient en leurs chercheurs. Faut-il créer le "MIT français" ?

Sa réponse est de proposer la création d'un Institut de l'énergie au niveau national, qui rassemblerait les experts scientifiques de chaque domaine et constituerait un carrefour de cultures pour les nouveaux matériaux et les nouveaux systèmes qui feront notre industrie de demain.

"Sans système d'intégration, la recherche n'est que ruine."





Daniel Lincot

Directeur de laboratoire à Chimie ParisTech et Directeur de l'IRDEP, Institut de recherche et de développement sur l'énergie photovoltaïque, laboratoire commun Chimie-Paristech, CNRS, EDF.

Question de Philippe Rocher : "D'un côté, Jacques Amouroux nous annonce qu'un monde du photovoltaïque se prépare et, de l'autre, la contribution de cette filière est aujourd'hui homéopathique. Comment passe-t-on de l'un à l'autre ?"

L'avenir du PV repose sur deux piliers : la ressource et la caractéristique de la croissance. La ressource en énergie photovoltaïque est gigantesque et distribuée. En France, un carré de 56 km de côté équipé de panneaux photovoltaïques à 10% de rendement permettrait de couvrir la consommation électrique nationale. Concernant le développement de la filière, il s'agit d'un cas typique de croissance exponentielle. Aujourd'hui, le photovoltaïque affiche une puissance mondiale installée de 13 GW et, avec le maintien d'un taux de croissance de 50 % par an, il pourrait fournir 12 % de la consommation européenne d'électricité en 2020.

Deux technologies cohabitent actuellement :

le silicium et les couches minces. Technologies mono-jonction, ces deux filières devraient atteindre des rendements de 30 % maximum, alors que les technologies multi-jonctions frôlent les 40 % de rendement (données laboratoires). Enfin, les technologies organiques et nanostructurées émergent. L'atteinte d'un rendement de 80 % constitue un

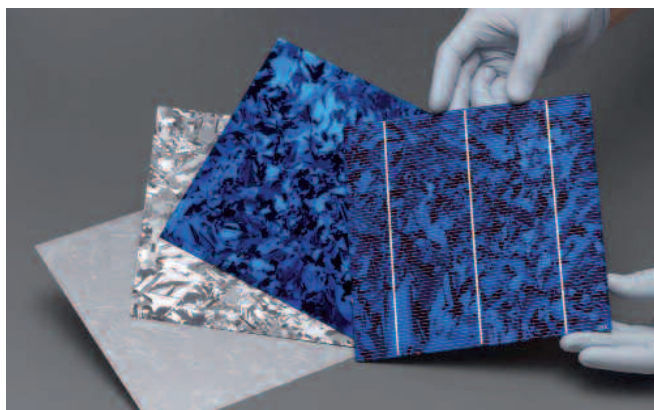
véritable Graal pour les chercheurs. Aujourd'hui, bien que les filières couches minces possèdent des rendements plus faibles, elles affichent un meilleur prix au kWh. Cependant, les filières multi-jonctions représentent la meilleure option pour augmenter significativement les rendements.

L'arrivée des technologies organiques constitue une réelle rupture (effet photovoltaïque différent), même si la question de leur stabilité doit encore être réglée. Depuis plusieurs années, l'attention s'est surtout portée sur la partie jonction, c'est-à-dire électrique. Or, il ne faut pas négliger l'apport de la photonique "la gestion de photons" au domaine du photovoltaïque (concentration des photons, changements des longueurs d'ondes, augmentation de leur réflexion, etc.).

Afin de faire baisser les coûts de fabrication, il importe de découvrir de nouveaux procédés.

L'optique et la photonique constituent des voies de recherche importantes, puisqu'elles peuvent permettre d'obtenir des rendements supérieurs à 40 %.

Des progrès doivent être effectués en matière de purification du silicium (introduction du plasma), de sciage, de contacts... Pour le dépôt des couches minces, les recherches visent à augmenter les vitesses, agrandir les surfaces traitées, et développer les méthodes atmosphériques (électrolyse, sérigraphie). Une autre piste concerne les substrats flexibles légers, via l'encapsulation et la connectique.

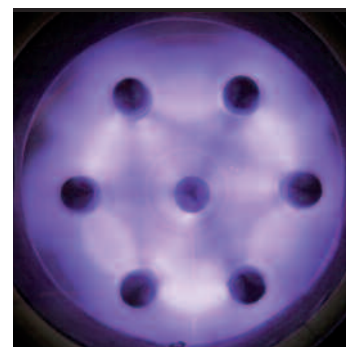


Projet PHARE : Amélioration des étapes de fabrication des cellules de Silicium pour de nouvelles architectures et des rendements élevés

Le SET Plan européen (Strategic Energy Technology Plan) fixe à la filière PV l'objectif de fournir 12 % de l'électricité européenne à l'horizon 2020. Cet enjeu, qui nécessite mobilisation et volontarisme, est réalisable. **Le secteur bénéficie d'une dynamique exceptionnelle et l'opportunité de développer la filière est historique.**

Les points clefs résident dans le formidable potentiel de rendement et de réduction des coûts offert par l'innovation en matière de procédés. Enfin, rappelons que le photovoltaïque ne peut fonctionner sans les éléments connexes : l'électronique, les onduleurs, l'architecture, le numérique pour piloter les réseaux, etc.

"L'enjeu majeur de la recherche dans le domaine de l'énergie solaire photovoltaïque est le coût de l'énergie en euros par kWh (coût de fabrication incluant le rendement de conversion)."



Projet ATOS : dépôt par plasma de micro couches de Silicium



Démonstration d'une diode polymère organique luminescente

Georges Hadziioannou

Professeur à l'Université de Bordeaux et Chercheur au LCPO (Laboratoire de Chimie des Polymères Organiques)

Le système de soutien de l'ANR est excellent, et a été créé au bon moment. Grâce à cette agence, les budgets alloués aux projets ont augmenté. Il est maintenant nécessaire que les chercheurs modifient leur manière d'aborder les défis énergétiques d'aujourd'hui. En effet, il importe que ces derniers ne restent pas figés sur leurs compétences et continuent à les faire progresser, tout en leur cherchant d'autres domaines d'application.

Il y a déjà 20 ans, les chercheurs croyaient en l'avenir des semi-conducteurs organiques.

La recherche française doit se fédérer, mais elle doit également faire des choix en privilégiant les domaines d'excellence, parmi lesquels figure l'électronique organique.

A l'époque chez IBM aux Etats-Unis toute l'électronique était basée sur le silicium. On a ensuite cherché à combiner les propriétés des polymères et la conduction ou la semi-conduction. La première découverte a été réalisée par l'Université de Cambridge, dans un contexte de fort scepticisme. Elle portait sur les polymères émettant de la lumière. Aujourd'hui, les sceptiques émettent des doutes concernant le développement du photovoltaïque organique.

Avant de porter de tels jugements, il convient de s'appuyer sur des travaux de recherches. Les matériaux organiques sont les plus faciles à mettre en œuvre et les moins énergivores. Les travaux doivent donc porter sur l'ingénierie, les procédés, les nanoprocédés, etc.

La maison de demain pourrait être éclairée par des papiers peints en plastique, et les voitures pourraient tirer une partie de leur énergie de leur peinture.

Le développement de ces nouveaux matériaux demande l'implication des chercheurs, des ingénieurs, des industriels, mais aussi des professionnels du marketing. De fait, le marché pour de tels produits n'existe pas encore aujourd'hui. Or, les marchés n'existaient pas non plus à l'époque où Microsoft ou Google se sont développés !

Les nouveaux matériaux pour l'énergie offrent des opportunités énormes. Il faut mener des travaux de recherche à tous les niveaux, jusqu'à l'industrialisation et jusqu'au marché."



Michèle Jacquemelle

Chef du Département Economie, Fonctionnement et Études des Systèmes Energétiques à EDF R&D

Le développement des énergies renouvelables impacte la gestion des réseaux électriques. Des recherches s'imposent pour relever ces défis. Aujourd'hui, l'éolien affiche une puissance installée de 4,5 GW en France. Fin 2010, celle-ci devrait atteindre 7 GW, puis 20 à 25 GW à l'horizon 2020.

Cette filière constitue un nouvel aléa pour le système électrique, puisque sa production est intermittente et variable.

L'impact de l'éolien se rencontre à long terme, avec des effets sur les investissements, mais aussi à plus court terme avec des conséquences pour la gestion des réserves (hors réserves primaires et secondaires). Ainsi, à partir de 10 GW de puissance éolienne installée, il faut prévoir quelques centaines de MW de réserves supplémentaires. L'aléa se retrouve également en temps réel. Même si de nombreuses recherches sont menées pour affiner les prévisions, des incertitudes demeurent. Celles-ci ont un coût, puisque les écarts devront être réglés sur le marché des ajustements. La gestion du système électrique va nécessiter de trouver les moyens de lisser les fluctuations du réseau.

Concernant le photovoltaïque, même si la puissance installée est encore faible (175 MW), l'explosion des demandes de raccordement (2,6 GW) témoigne de la croissance exponentielle suivie par le secteur. Or, le développement de cette filière n'est pas non plus sans consé-

quences sur le système électrique. L'enjeu de la gestion du système réside dans le maintien de l'équilibre entre la production et la consommation.

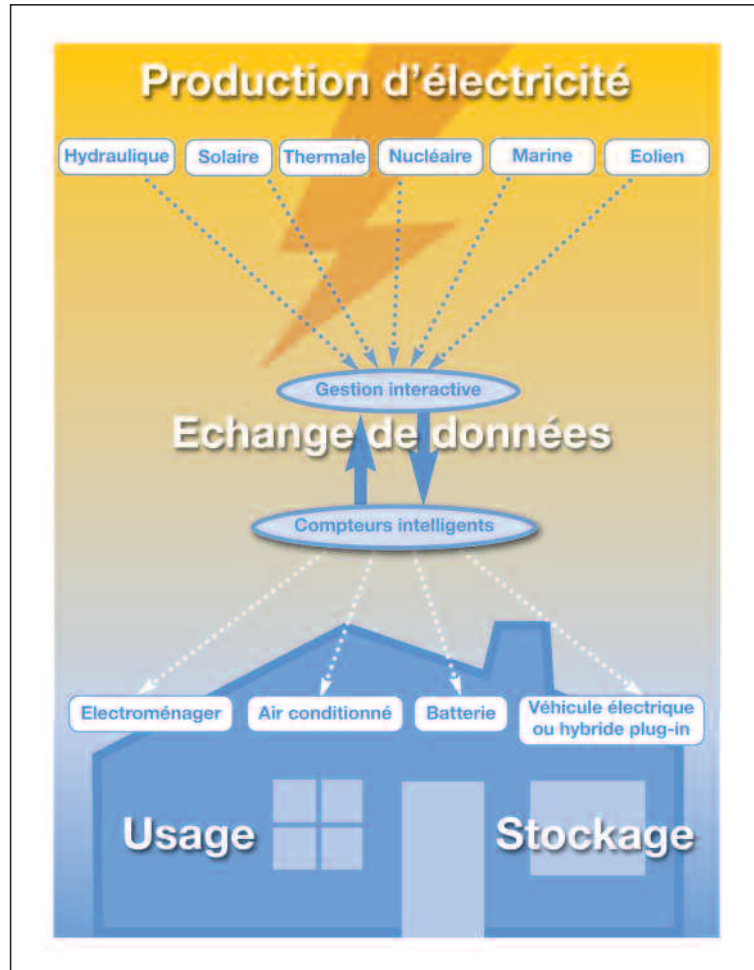
Avec le photovoltaïque, les écarts de fréquence sont de plus en plus profonds et peuvent conduire à effectuer des délestages.

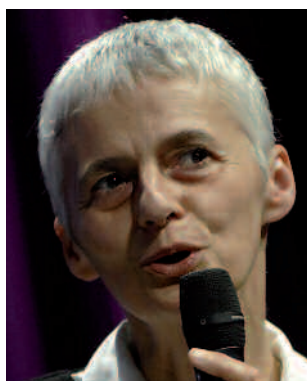
Des effets sont également notables concernant la tension. Cependant, si globalement la production photovoltaïque ne concorde pas avec les pointes de consommation, une adéquation peut être observée localement et différer ainsi des investissements de réseau.

Le stockage apparaît comme une bonne solution, puisqu'il permet de lisser la courbe de charge.

Les exercices de valorisation restent difficiles aujourd'hui, mais de nouveaux leviers apparaissent pour favoriser sa rentabilité : volatilité des prix de l'énergie, volonté de réduire les émissions de GES... Enfin, de nouvelles règles de marché pourraient être définies, afin de faciliter les "bons" investissements.

"La meilleure solution pour relever le défi de l'intégration des énergies renouvelables intermittentes nécessite des réseaux communicants associés au stockage de l'électricité." (voir schéma ci-dessous).





Nicole Mermilliod

Directrice du Programme NTE
du CEA

L'innovation technologique a un rôle capital à jouer dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie. L'innovation est le moteur du développement économique. Elle donne aux entreprises la possibilité de gagner des parts des marchés existants et leur ouvre de nouveaux marchés.

Recherche, développement, démonstration et mise sur le marché sont intimement liés. Pour étendre les frontières de la connaissance il faut une recherche fondamentale forte qui alimente la recherche finalisée. Celle-ci permet de passer des découvertes au développement industriel, via notamment le dépôt de brevets.

La construction de prototypes et de démonstrations à l'échelle pré-industrielle est la dernière étape vers le développement commercial.

Aujourd'hui, tout le monde s'accorde sur l'importance de plateformes technologiques, où chercheurs et industriels peuvent travailler ensemble pour accélérer le passage d'une étape à l'autre. Le CEA a choisi de travailler en partenariat avec des industriels au sein de telles plateformes technologiques pour mettre au point des composants élémentaires et systèmes d'avant-garde. Cette approche augmente l'efficacité du partenariat technologique en lui donnant une forte cohérence et permet d'accélérer le processus de transfert de connaissances. Dans cette approche, grandes comme petites entreprises travaillent ensemble avec les scientifiques, pour créer des produits commerciaux compétitifs. L'ANR a joué un rôle important

pour favoriser cette approche, notamment pour les piles à combustibles, le stockage d'énergie, ou encore l'énergie photovoltaïque.

Beaucoup d'innovations dans le secteur de l'énergie ont trait aux composants élémentaires, mais ignorent ou négligent souvent le développement système. Or pour atteindre ses objectifs, la recherche technologique doit porter ses efforts sur l'ensemble d'une filière technologique. Cela requiert de disposer de plateformes technologiques complètes sur un même site, allant du matériau au système complet.

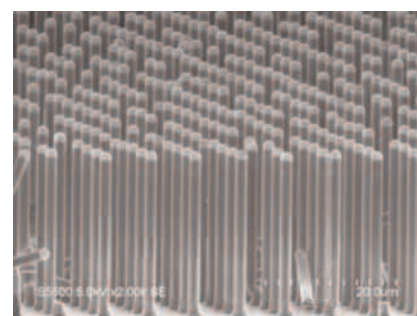
Ainsi dans le cas de l'énergie photovoltaïque, à Chambéry, les laboratoires de l'INES travaillent non seulement sur le matériau silicium, sur les cellules et modules solaires, mais aussi sur leur certification, sur les systèmes dans leur totalité (onduleurs, prévisions de production...), sur les réseaux électriques intelligents, ou encore la mobilité solaire. Une activité intense se développe actuellement sur de nouveaux concepts de réseaux (smart grids) pour lisser la consommation électrique et intégrer les énergies solaire et éolienne qui ont un caractère intermittent. Cela nécessitera une gestion intelligente de l'énergie dans le bâtiment et les transports, thématiques qui seront au cœur des projets ANR de demain, et pour lesquelles il est nécessaire de renforcer les efforts de recherche, notamment sur les systèmes de systèmes et les nouveaux services, qui font appel à des compétences différentes : logiciel, marketing...

Dans le secteur de l'énergie, les nanomatériaux vont avoir un impact important, et sont à l'origine d'un grand nombre d'innovations de rupture : nanofils de silicium pour cellules solaires, nanocatalyseur pour piles à combustibles, nanopoudre pour batteries Li-ion, etc.. Ils permettront d'économiser de la matière (préservation des ressources) et d'augmenter les rendements. Ceci, grâce à trois de leurs propriétés spécifiques que sont l'effet "surface/volume" (nano catalyseurs, composants d'insertion), l'effet "quantique" (super-réseaux, nanocristaux, nanofils), et l'effet "renfort"

(nanocomposites, percolation thermique ou électrique). Les nanomatériaux d'aujourd'hui sont loin d'avoir atteints le maximum de leurs performances, les futurs programmes de l'ANR ont un bel avenir dans ces nouveaux domaines. Mais les préoccupations de la société concernant ces nouveaux nanoéléments demandent des réponses scientifiques claires. La sécurité est au centre des recherches d'un nouveau laboratoire de caractérisation des nanomatériaux, et en particulier des nanopoudres, en cours de développement à Grenoble pour faire progresser les connaissances en matière d'impact et de traçabilité.

L'innovation est la clé qui permettra aux nouvelles technologies de l'énergie de devenir compétitives, de limiter les émissions des gaz à effet de serre et de respecter l'environnement. Les programmes de recherche de l'ANR ont permis de produire des résultats importants comme l'a montré ce colloque.

Ces programmes ont mis en cohérence chercheurs, ingénieurs et industriels, au sein de partenariats publics-privés pour réaliser des projets concrets. Il est maintenant essentiel de maintenir cet effort de financement des projets innovants pour avoir un impact qui dure à long terme.



Nanofils de silicium pour
cellules photovoltaïques.
Crédit : CEA Liten

7

Conclusions



Jean-Bernard Saulnier

Président du Comité Scientifique Sectoriel Energie de l'ANR

Ce colloque qui a attiré plus de 700 participants, constitue un vif succès pour la communauté des nouvelles technologies de l'énergie. Il n'était pas aisé pour une première édition de rassembler des communautés scientifiques et techniques portant sur un domaine aussi vaste, allant des biocarburants de troisième génération jusqu'au stockage géologique du CO₂, en passant par l'hydrogène, les batteries et le photovoltaïque.

Le mode de financement de l'ANR et l'ampleur des dotations ont fortement contribué à mobiliser les forces de la recherche partenariale sur les thématiques de l'énergie. Les relations de l'ANR avec les différents pôles de compétitivité, avec l'ADEME et l'ANCRE sont en train de se mettre en place. Le nouveau dispositif de la recherche sur l'énergie est en ordre de marche.

L'attention soutenue des participants au cours de ces deux journées a témoigné de la richesse des résultats obtenus par les programmes de l'ANR.

Ce succès tient aussi à l'exposition, au cours de ces deux journées à la Cité des sciences et de l'industrie, de réalisations technologiques concrètes qui ont montré la vitalité du domaine des NTE et l'intérêt de la recherche partenariale.

Près de 1 200 équipes académiques et industrielles ont su créer les connaissances nécessaires et les ont mises en œuvre grâce à des démonstrateurs, des projets pilotes, voire des projets industriels.

L'agence a certes permis aux industriels de trouver les interlocuteurs qu'ils attendaient dans le monde de la recherche. Elle a également donné aux chercheurs la possibilité de valoriser leurs compétences, en les mettant en œuvre dans des projets, aux côtés de leurs partenaires industriels. C'est ici la démonstration de l'effet nouveau de renforcement du partenariat public privé et du développement des synergies dont la France a tant besoin.

L'ANR a montré qu'elle est un catalyseur essentiel pour la vitalité des programmes des PME. Elle leur donne le coup de pouce qui leur est nécessaire pour accélérer le lancement de projets ambitieux et innovants.

Le retour d'expérience des projets financés par l'ANR placent celle-ci en mesure d'améliorer son dialogue avec les organismes de recherche, pour leur permettre par exemple de redéployer leurs forces dans des niches encore insuffisamment dotées en chercheurs. Un autre aspect positif de l'ANR concerne son ouverture à l'international, qui représente aujourd'hui 13 % des projets. Surtout développée avec le Brésil pour les bioénergies, ou avec l'Allemagne pour l'hydrogène et les piles à combustibles, elle s'ouvre maintenant sur le Japon. L'augmentation annoncée de la dotation des programmes blancs pourrait permettre de renforcer la coordination entre les projets du programme énergie du CNRS et les travaux qui seront développés au sein du programme blanc.

Le thème de la sécurité a été très présent durant ce colloque, concernant la grande majorité des thématiques : l'hydrogène, le CCS, le photovoltaïque (production du silicium), les nanomatériaux... **Pour accompagner le déploiement des nouvelles technologies de l'énergie, il est primordial de parfaitement maîtriser ces aspects sécurité.** La recherche dans le domaine des NTE doit enfin développer ses liens avec le monde social et économique afin de

mieux comprendre les besoins de la société, d'identifier les obstacles à la diffusion de ces technologies et d'y remédier.

“Ce colloque a montré le potentiel considérable du partenariat entre la recherche publique et privée dans le domaine des NTE”.



Organisation du colloque

ANR

Gérard ANTONINI
Pascal BAIN
François BEGUIN
Marie-Ange FOLACCI
Philippe FREYSSINET
Sylvie HAREUX
Liz PONS
Aline TOURNIER

CEA

Suzanna BAHRI
Philippe BIGEON
Françoise BRUCY
Pascal COUFFIN
Bernard FROIS
Alain GAUTHIER
Daniel RITTI

ADEME

Daniel CLEMENT
Pierre GALTIER

IFP

David ARRAOU
Pierre ODRU

Remerciements

L'ANR remercie tous ceux qui ont contribué à l'animation de ce colloque, présidents des comités, orateurs, et intervenants des différentes sessions.

La réalisation de l'exposition qui a illustré les projets financés par l'ANR, a demandé un soutien logistique fort.

L'ANR remercie les organismes de recherche :
CEA/LITEN, CEA/DAM, BRGM, IFP, IFREMER, INERIS, INPL, LSBB,
et les sociétés AIR LIQUIDE, AREVA-HELION, PSA, TOTAL pour leur support généreux.

L'ANR est particulièrement reconnaissante envers le directeur du cabinet METROL
Philippe ROCHER, assisté de Marie-Laure LAMY
qui ont assuré l'animation et la synthèse du colloque.

Photographe du colloque : Laurence GODART.
Maquettiste : Philippe ZAMANSKI
Impression : Imprimerie de Pithiviers



Pour en savoir plus :

Site internet du colloque : www.colloques-2009-anr.fr

Sites des programmes

Bioénergies : www.pnrp.net

Captage et stockage du CO₂ : www-anr-co2.cea.fr

Solaire photovoltaïque : www-anr-pv.cea.fr et www-anr-habisol.cea.fr

Hydrogène et piles à combustible : www-anr-panh.cea.fr

Site général de l'ANR

www.agence-nationale-recherche.fr