

## GAT « Production d'électricité sans CO<sub>2</sub> »

Ce GAT a été mis en place en juin 2007. Il regroupe 6 thématiques animées par :

- 1) Thermoélectricité - Antoine Maignan - <http://www-crismat.ensicaen.fr/>
- 2) Solaire thermodynamique - Gilles Flamand - <http://www.promes.cnrs.fr/>
- 3) Photovoltaïque silicium - Abdelillah Slaoui - <http://www-iness.c-strasbourg.fr/>
- 4) Photovoltaïque couches minces - Daniel Lincot - <http://www.enscp.fr/>
- 5) Photovoltaïque organique - Pierre Destruel - <http://www.laplace.univ-tlse.fr/>
- 6) Systèmes pour photovoltaïque - Corinne Alonso - <http://www.laas.fr/laas/>

Il est couplé à des réseaux thématiques. Les rôles de chacune de ces structures sont ainsi définies :

Le rôle des réseaux est de fédérer la recherche dans un domaine, celui du GAT est de trouver des passerelles entre ces différents thèmes scientifiques.

### Activités GAT en 2007

Au cours de l'année passée, l'essentiel de nos activités a consisté à se présenter entre les différents partenaires et leurs thématiques. Ainsi nous nous sommes réunis le 26 septembre 2007 à 9h30 en salle 205 de l'ENSCP à Paris. L'objectif de cette rencontre était :

- 1) que chacun se présente avec le sous-thème qu'il anime (maximum 10 mn chacun) :
- 2) de préparer la réunion du 1<sup>er</sup> octobre 2007 prévue au CNRS et qui réunissait les responsables des 7 GATs du programme Energie.
- 3) de trouver des interactions possibles interGAT.
- 4) Proposer les thématiques qui doivent être publiées dans l'Appel à Projet 2008 du programme CNRS Energie.

Les conclusions importantes en fin de cette réunion (26/09/2007):

#### **a) Point sur les activités de chacun des GAT; prévisions:**

Au stade actuel de développement du GAT, il semble que les communautés le constituant sont arrivées à un stade de connaissance mutuelle qui permet d'envisager des actions communes

Il semble donc nécessaire de mettre en oeuvre plusieurs actions. En particulier il est indispensable que le GAT ait des points de concrétisation. Dans cet esprit, il est possible d'envisager tous ensemble une Feuille de route du GAT dans laquelle s'inscriraient plusieurs actions entre sous-groupe du GAT. La feuille de route ainsi rédigée permettra de s'inscrire dans le temps et d'affirmer la nécessité de placer certaines actions sur le moyen ou long terme. Pour ce qui concerne le sous-thème Thermoélectricité il est possible d'inscrire les axes suivants:

- Systèmes, une problématique commune au générateurs PV et Thermoélectriques. (court et moyen terme).
- Organique: PV et Thermoélectricité.(long terme).
- Contacts électriques Oxyde. (court terme).

Pour le sous-thème PV Silicium :

- Conversion photonique par photoluminescence ou multiplication :

- ➔ fabrication de nanoSi (boîtes ou fils quantiques) de taille et densité contrôlées dans différentes matrices (oxydes, nitrure, carbure)
- ➔ grande efficacité de conversion des photons UV vers photons rouges par contrôle de la taille
- ➔ Fabrication de couches TiO<sub>2</sub>, ZnO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contenant une ou plusieurs terres rares (Er, Yb, Tb, Tm...) pour conversion des photons infrarouges en visible
- Cellules tandem « nano-Si » à gap variables:
  - ➔ fabrication de nanoSi (boîtes ou fils quantiques) de taille et densité contrôlées dans différentes matrices (oxydes, nitrure, carbure)
  - ➔ contrôle de l'absorption, de la conduction, du transfert

Pour le sous-thème Systèmes pour Photovoltaïque :

- Interaction matériau-système-stockage
- Nouveaux systèmes de conversion multi-source d'énergie multi-sources de stockage
- Nouvelles architectures de réseaux d'énergie
- Systèmes de gestion d'énergie interactifs pour le bâtiment

Dans la mesure où ces actions se concrétiseront par des travaux communs entre laboratoires, elles devront être spécifiquement soutenues par les dispositifs d'accompagnements du programme Energie.

#### **b) Réflexion sur les interactions possibles inter GAT:**

Une réflexion commune avec le GAT Bâtiment semble nécessaire tant du point de vue des thématiques croisées que des problématiques de "frontière thématique" qui surgiront, et qui ne sont pas identifiables autrement. De plus ces échanges seront favorables aux activités du GAT Electricité propre en lui offrant un point de concrétisation.

#### **c) Réflexions préliminaires en vue de l'appel à projet 2008.**

Les axes proposés dans le paragraphe a) pourront faire l'objet de proposition pour l'appel à projet 2008.

Par ailleurs, il est impératif que des plateformes technologiques puissent être mises à la disposition des chercheurs et ingénieurs académiques afin de réaliser les premières briques et des prototypes en vue d'un transfert. En France, on dispose de 2 plateformes dédiées Silicium, mais qui se différencient par leur taille et leur motivation. La plateforme RESTAURE à « INES-Chambéry » (~ 200 m<sup>2</sup> salle blanche) qui va remplacer celle de CEA-Grenoble dispose des moyens du CEA et vise à développer des technologies assez matures sur des grandes plaques (> 5 cm<sup>2</sup>) pour les transférer à l'industrie. La plateforme « InESS-Strasbourg » (~ 80 m<sup>2</sup> salle blanche) dispose aujourd'hui seulement des moyens propres du laboratoire. Cependant, cette plateforme a pour vocation d'être d'intérêt national puisque ouverte à tous les laboratoires académiques pour le développement de nouvelles structures et concepts incluant, dans une matrice hôte de silicium, des composites nano-structurés à base de matériaux minéraux ou organiques. Elle se différencie clairement de la plateforme RESTAURE car les dispositifs de test et les premiers démonstrateurs de laboratoire sont de l'ordre de quelques mm<sup>2</sup> à quelques cm<sup>2</sup>.

Il serait souhaitable de permettre l'ouverture effective de cette plateforme à l'ensemble de la communauté Silicium et dérivés en participant financièrement à sa maintenance, son développement et l'accueil des prestataires.

#### **d) les réseaux**

Des réseaux sont déjà opérationnels ou en cours de constitution.

# RÉSEAU

## « SILICIUM CRISTALLIN PHOTOVOLTAÏQUE »

Animateur : A. SLAOUI

**Missions:** La mission majeure du réseau «Silicium cristallin photovoltaïque» est de faire progresser les rendements de conversion et de réduire les coûts des cellules et des différents composants des systèmes de la conversion photovoltaïque, afin de rendre l'électricité produite compétitive par rapport aux sources conventionnelles. Compte tenu de la maturité de la technologie PV, les nouvelles pistes dans ce secteur passe par une compréhension scientifique et technique des facteurs limitant qui demande plusieurs études en amont, et également par un effort de recherche soutenu dans les domaines émergents.

**Objectifs:** Ce réseau «Silicium cristallin photovoltaïque» a pour finalité de déterminer les actions prioritaires permettant des progrès significatifs en R&D afin de rendre la recherche photovoltaïque française, effectuée de plus en plus en partenariat sur le plan national et avec d'autres pays européens, compétitive par rapport aux autres pays du monde. Il se doit également de hiérarchiser les actions prioritaires du secteur photovoltaïque dans les domaines d'activités suivants :

- Silicium charges, de sa production à sa purification
- Silicium cristallin en plaquettes et en ruban
- Silicium amorphe et cristallin, en couches minces
- Concepts innovants (nanostructuration, conversion photonique...) appliqués aux cellules Si

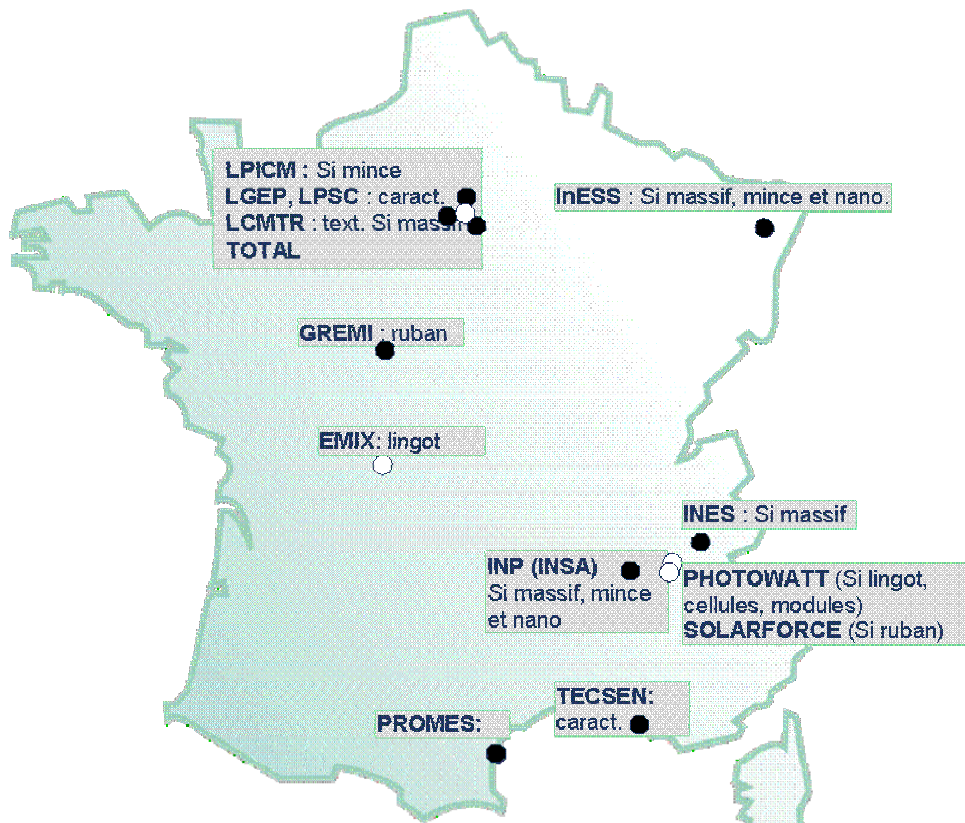
### Actions en 2007 :

- Identifier les partenaires académiques et industriels impliqués dans les activités photovoltaïques à base de silicium. *Une carte de France résumant la présente situation est jointe.*
- Recenser les projets nationaux et européens sur silicium dans lesquels les équipes académiques et industriels sont partenaires. *Une liste est jointe.*
- Etablir un site web dédié au PV-Si dans lequel on trouvera la liste des acteurs et des laboratoires, un état de l'art du PV, les priorités et les plateformes, la feuille de route national et européenne, les appels à projets ainsi que les annonces de conférences. *Celui-ci sera prêt fin juillet 2008.*
- Etablir une concertation avec les autres réseaux du photovoltaïques et des autres secteurs de l'énergie (solaire thermique, thermoélectricité) au sein du GAT afin d'établir des actions communes (projets, conférences...). *L'accord de principe étant acquis, la forme des actions à entreprendre reste encore à décider*
- Proposer des thèmes d'investigations pour appel à projet 2008

### **Remarque importante émanant des acteurs :**

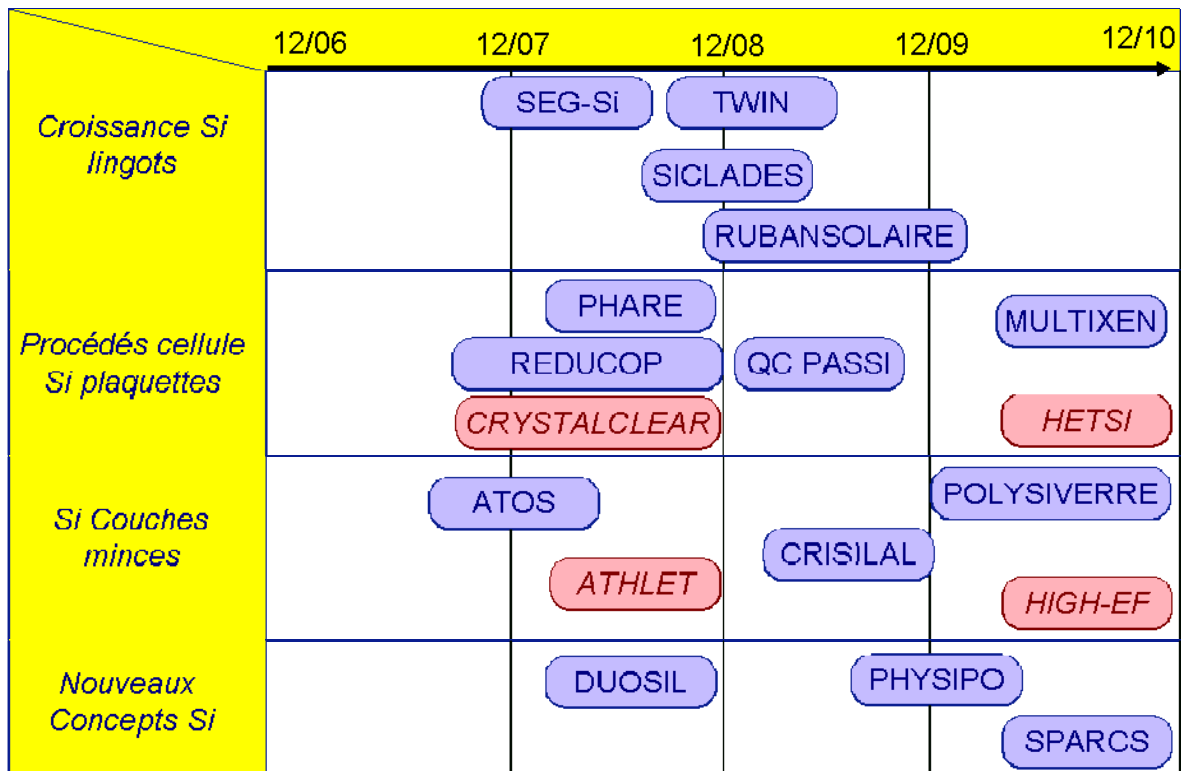
La communauté PV-Si n'est pas très mobilisée par les actions du programme ENERGIE au regard des moyens très faibles mis à la disposition (hors salaires bien sûr) de la communauté dans son ensemble, et du PV-Si en particulier. Elle préférera s'orienter vers les actions ANR ou européenne.

**Structures académiques (rond plein) et industriels (rond vide) impliquées dans le photovoltaïque à base de silicium**



**Erreur !**

Acronymes de projets nationaux et européens (*en italique*) finissant en 2008 ou plus tard, et qui concernent spécifiquement le silicium photovoltaïque



## Projets nationaux et européens (*en italique*) sur le silicium photovoltaïque

Acronyme	Projet ; participants français
TWIN	Filière électromagnétique de réductions des coûts des cellules photovoltaïques à base de silicium multicristallin. 1 CEA - 1 Ecole - 2 Entreprises
SEG-Si	Amélioration de la ségrégation dans le silicium par optimisation du brassage électromagnétique. 1 UMR - 1 UPRES - 1 CEA - 2 Entreprises
SICLADES	Interaction Silicium Carbone lors de l'élaboration du silicium photovoltaïque par voie Liquide ; Adhérence et DETachement en Solidification. 1 CEA - 2 UMR - 1 Entreprise
PHARE	Procédés innovants pour cellules photovoltaïques à haut rendement. 1 CEA - 5 UMR - 2 UPR - 3 Entreprises
REDUCOP	Réduction du coût des modules photovoltaïques à base de Si. 1 CEA - 4 UMR - 2 UPR - 1 Entreprise
CRISTALCLEAR	<i>Crystalline Silicon PV: Low-cost, highly efficient and reliable modules.</i> 1 UMR - 1 Entreprise
HETSI	<i>Heterojunction Si Solar Cells</i> CEA-INES, CNRS, ECN, UU, IMEC, UNINE, HMI, PW, QC, SOL, ALMA
MULTIXEN	Silicium multicristallin de type n pour la fabrication de cellules solaires à bas coût et à rendement de conversion élevé. 4 UMR - 1 CEA - 2 Entreprises
ATOS	Association Tandem Optimisées pour le Solaire 2 UMR - 1 UPR - 1 Entreprise - 1 PME
POLYSIVERRE	Cellules photovoltaïques à base de Silicium polycristallin en couche mince sur substrat verre céramique 1 CEA - 3 UMR - 3 Entreprises
CRISILAL	ReCRIstallisation de couches minces de SILicium déposées sur ALliages métalliques. 1 CEA - 3 Entreprises
HIGH-EF	<i>Large grained, low stress multicrystalline silicon thin film solar cells on glass by a novel combined diode laser and solid phase cristallisation process.</i> 1 UMR - 1 Entreprise
DUOSIL	Cellules photovoltaïques tandem tout silicium 4 UMR - 1 UPR - 1 CEA
PHYSIPO	Cellules photovoltaïques hybrides nanofils Si-Polymère 4 UMR
SPARCS	Structures photoniques pour l'amélioration du rendement des cellules solaires photovoltaïques. 3 UMR - 1 CEA

# RÉSEAU NANORGASOL

## « PHOTOVOLTAÏQUE ORGANIQUE »

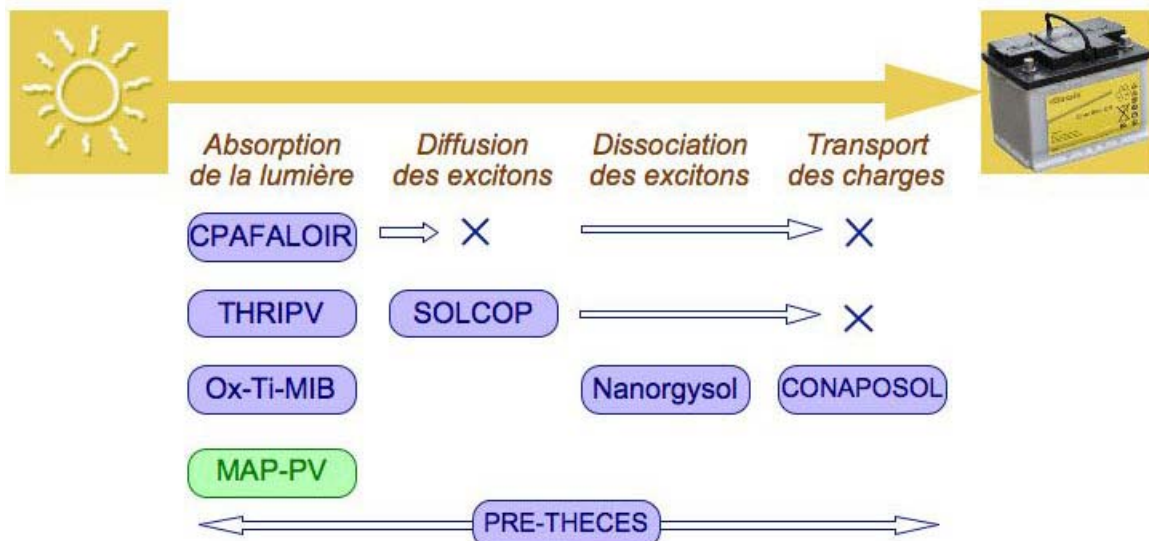
Animateur : Ch. DAGRON LARTIGAU

Assemblée générale du réseau en novembre 2007, avec ordre du jour d'actualiser la feuille de route PV Organique et intégrer l'activité « Cellules hybrides ».

### Structures académiques impliquées dans le photovoltaïque organique



### Acronymes de projets nationaux et qui concernent le photovoltaïque organique



<b>Acronyme</b>	<b>Projet ; participants français</b>
CPAFALOIR	Cellules Photovoltaïques Auto structurées à Forte Absorption aux Longueurs d'onde Infra Rouge 2 UPR - 1 UMR
THRIPV	Nouvelles voies vers les très hauts rendements PV 2 UPR - 5 UMR - 1 Entreprise
Ox-Ti-MIB	Ox-Ti-Photovoltaïque III <sup>e</sup> génération (MIBs) et Photobatteries 6 UMR
MAP-PV	Matériaux polymères photoactifs à faible gap pour la conversion photovoltaïque 1 UMR - 1 CEA
SOLCOP	Cellules photovoltaïques à base de copolymères rigide-flexible nanostructurés 2 UMR - 1 CEA - 1 Entreprise
NANORGYSOL	Cellules SOLaires photovoltaïques à base de nouveaux matériaux ORGANIQUES et hYbrides NANostructurés 1 CEA - 3 UPR - 13 UMR - 1 FRE - 2 EA
CONAPOSOL	COMposites Nanotubes de carbone - Polymères appliqués à la réalisation de cellules SOLaires 5 UMR
PRE-THECES	Projet de Recherche Exploratoire pour une Très Haute Efficacité de Conversion de l'Energie Solaire 4 UMR - 1 Entreprise

# RÉSEAU

## « COMPOSANTS ET SYSTEMES PV »

Animateur : C. ALONSO

Il aura pour buts principaux, en gardant en permanence un lien étroit entre système et matériaux :

- d'identifier les thématiques de recherche émergentes, en particulier les problèmes liés à la compatibilité des sources de production, la problématique du stockage, l'émergence de nouveaux réseaux énergétiques pour diverses puissances (et donc applications).
- de répondre aux appels d'offres nationaux (type ANR) et internationaux
- de favoriser les démarches de transfert entre Industrie et Recherche
- d'identifier les nouvelles formations nécessaires
- de former les futurs intervenants du domaine

**Acronymes de projets nationaux finissant en 2008 ou plus tard, et qui concernent spécifiquement les composants et systèmes PV**

Acronyme	Projet ; participants français
HERMES	Harmonisation et intégration de dispositifs électroniques pour la réalisation d'un module photovoltaïque évolué dans un système solaire optimisé. 1 UMR - 1 CEA - 3 Entreprises
LIPV	Module multifonctionnel stockage Li-Ion et conversion photovoltaïque de l'énergie solaire. 1 UPR - 1 CEA - 1 Entreprise
ROLLPV	Procédé continu d'encapsulation pour wafers Silicium, composants multifonctionnels d'enveloppes associés et recyclabilité. 1 CEA - 6 Entreprises
SOLEDO	Solution globale pour un mini réseau avec énergie décentralisée photovoltaïque en source principale et gestion optimisée des flux de production et de consommation. 1 UMR - 4 Entreprises - ARMINES
MICROSCOPE	Micro Injecteur Connecté au Réseau pour Optimiser par le Stockage la Courbe de Production Electrique. - 1 CEA - 1 UPR - 2 UMR - 1 EA - 2 Entreprises
MULTISOL	Optimisation des flux électriques dans un bâtiment photovoltaïque. 1 CEA - 1 UMR - 1 UR - 1 Entreprise - ARMINES
Quali-Val-ENR	Système photovoltaïque avancé pour mieux valoriser la production solaire et améliorer la qualité de l'approvisionnement électrique de l'habitat. 1 EA - 1 Entreprise
DLD-PV	Détection et Localisation de Défauts dans une installation PV. 1 CEA - 1 UMR - 1 FRE - 1 Entreprise



## Les interactions possibles entre réseaux :

- Couplage TPV ou thermoélectricité et solaire concentré
- Couplage PV-Solaire concentré par conversion PV sous concentration (CPV).
- Hybridation biomasse/solaire concentré
- Rapprochement entre efficacité énergétique et solaire concentré sur le thème des microéchangeurs ou microréacteurs (intensification des transferts et de réactions)

Sinon, outre les interactions avec les gens du matériau, il est nécessaire de prendre aussi en compte les sources d'énergie et de stockage émergentes, présentant des compatibilités éventuelles avec les sources PV (comme la thermoélectricité). Mais des interactions avec le GAT Bâtiment sont indispensables d'un point de vue système afin de permettre l'intégration des innovations dans les bâtiments du futur.

## **I) Thermoélectricité**

### **Présentation.**

La thématique thermoélectrique bénéficie depuis quelques années d'un regain d'activité important au sein de la communauté Energie. En effet, la génération d'électricité à partir des flux de chaleur perdue est aujourd'hui un enjeu important pour nos sociétés et peu de procédés permettent de réaliser cette conversion «contre-entropique» chaleur-travail. Les procédés concurrents à la thermoélectricité sont principalement des machines thermiques de type Rankine ou Stirling qui font l'objet de recherches spécifiques.

Les avantages des dispositifs thermoélectriques sont connus citons :

- L'absence de pièces mobiles.
- L'absence de vibrations.
- Un faible effet d'échelle garantissant les mêmes rendements pour les petits comme les grands dispositifs.

La communauté scientifique thermoélectrique est aujourd'hui rassemblée à travers GDR Thermoélectricité, et au sein de la plateforme nationale CNRS thermoélectricité.

### **Verrous actuels.**

Les principaux verrous actuels au développement des applications thermoélectriques sont les suivants :

1. Adaptation de la charge électrique aval pour l'optimisation de la production électrique.
2. Développement de voies de synthèse bas coût et transférables à grande échelle.
3. Optimisation des contacts électriques et thermiques entre éléments, particulièrement sur les structures de type Oxyde, destinées aux applications haute température.

### **Développements.**

Les applications actuellement en essor concernent les domaines du transport, principalement automobile, et celui du bâtiment. Ces deux domaines partagent les verrous précédemment définis. À partir de cette analyse a été envisagée avec différents partenaires une réflexion permettant la mise en commun des compétences:

1. Charge active : Cette problématique est partagée avec les acteurs de la communauté EEA (Electronique Electrotechnique Automatique) pour le Photovoltaïque. En particulier, dans le secteur du bâtiment, les dispositifs envisagés pour la régulation de la production d'énergie photovoltaïque possèdent de grandes similitudes avec les techniques envisagées pour la régulation de production thermoélectrique. En outre, en Mode Peltier la thermoélectricité permet de réaliser les opérations de réfrigération d'habitat moyennant une régulation spécifique. (contact Bruno Estibals)
2. La synthèse organique Photovoltaïque actuellement en plein essor, représente une piste de réflexion importante pour le développement futur de la thermoélectricité organique. En effet, ces deux domaines partagent la nécessité de développer des matériaux organiques

bénéficiant de propriétés électroniques de transport optimisées, en terme de mobilité, rendement quantique ou encore contrôle du Gap et plus largement de la structure de bande. (contact Daniel Lincot)

3. Cette problématique « matériau » est récurrente dès lors que sont concernées des structures à base d'oxyde. Ce trait est présent dans l'activité photovoltaïque dans la problématique des contacts de type TCO ou encore ZnO. Il l'est aussi dans l'activité thermoélectricité à haute température développée à base de structures oxydes. Dans le cas de développements en films les technologies utilisées pour le photovoltaïque (ZnO, TiO<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) pourront être mise à profit pour le développement de films thermoélectriques. (contact Daniel Lincot)

Par la poursuite des échanges, les trois axes présentés ci-dessus pourraient éventuellement déboucher sur le dépôt de projets dans le cadre du programme Energie du CNRS et de l'ANR.

## II) Photovoltaïque organique

Une des caractéristiques du PV organique est que cette science fait appel à des compétences fortement pluridisciplinaires. Il est indispensable que des chimistes, des physiciens, des chercheurs de l'ingénierie des dispositifs ... travaillent ensemble pour atteindre un objectif commun. Au plan national, le nombre élevé de petites équipes entraîne une dispersion des moyens qui est défavorable à l'efficacité de la recherche. Le rôle du GAT doit être de remédier aux conséquences de ces caractéristiques.

Pour cela, en 2008, les activités du GAT dans ce domaine devraient se développer selon deux axes :

- 1) Organisation de l'assemblée générale annuelle du réseau Nanorgasol. C'est au cours de cette manifestation que les chercheurs s'informent des avancées de leurs recherches, et que se décident au niveau national les axes prioritaires qui doivent être soutenus. Dans le passé, une « Feuille de Route » PV-Organique a été rédigée (2006) et complétée (2007) lors des précédentes réunions.

- 2) Réflexions dans le cadre plus général de l'Electronique Organique en France, pour tendre vers une proposition d'organisation de la recherche avec l'objectif de dégager une synergie nationale dans ce domaine.

## III) Photovoltaïque Silicium

Pour le sous-thème PV Silicium ou assimilé, les activités sur les cellules monocristalline, multicristalline, ruban et couches minces sur substrats divers étant soutenues par les projets ANR-PV, on peut considérer (ou espérer) que les recherches plus fondamentales et prospectives pourraient être fortement soutenues par le programme ENERGIE. Les thématiques pourraient être les suivantes :

- Augmentation de l'absorption des photons du spectre solaire par l'adjonction de couches de conversion photonique sur cellules conventionnelles :
- ➔ *fabrication de nanocristallites en Si, Ge, ZnSe, InN (boîtes ou fils quantiques) de taille et densité contrôlées dans différentes matrices (oxydes, nitrure, carbure) et leur application comme couche de conversion photonique par photoluminescence (photons UV vers photons rouges) ou multi-génération d'excitons.*

- ➔ *Fabrication de couches transparentes conductrices telles que TiO<sub>2</sub>, ZnO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contenant une ou plusieurs terres rares (Er, Yb, Tb, Tm...) pour conversion des photons infrarouges en visible.*
- ➔ *Modélisation des phénomènes de conversion photonique*
- Cellules à multijonctions à base de silicium nanostructurés:
  - ➔ *fabrication de cellules Tandem à partir de multicouches de matrices oxydes, nitrure, carbure contenant des nanocristallites de Si (boîtes ou fils quantiques) de taille et densité contrôlées ; Contrôle de l'absorption, de la conduction, du transfert de charges ; modélisation des phénomènes physiques inhérents à ces dispositifs.*
  - ➔ *Fabrication de cellules hybrides composées de fils quantiques de Silicium et de matériaux organiques (autres que P3HT déjà utilisé), élaborées en simple jonction ou en multijonctions pour augmenter la bande d'absorption. Cela passera par le développement de nouveaux polymères ou molécules et impliquera une forte interaction avec les chimistes.*

#### **IV) Systèmes pour photovoltaïque**

Un premier bilan en 2007 a montré que la taille critique du réseau d'universitaires était difficile à atteindre car il y a aujourd'hui, peu de laboratoires sur ce domaine avec en plus un effectif réduit. En effet, cette thématique, proche de la valorisation et de l'industrialisation n'est pas vraiment développée du côté CNRS ou dans les laboratoires universitaires mais plutôt dans des PME.

La plupart des personnels chercheurs spécialistes du domaine de conversion d'énergie sont aujourd'hui débordés et sont fortement sollicités pour des collaborations industrielles dans le cadre des pôles de compétitivité ou bien des contrats de type ANR, voir européens dépassant en plus la thématique photovoltaïque qui présente des besoins spécifiques.

Par ailleurs, la plupart des acteurs CNRS se connaissent et n'hésitent pas à échanger des informations dans la mesure du possible sous couvert de ne pas se confronter à des problèmes de confidentialités.

Aujourd'hui, en 2008, la plupart des acteurs déclarent que la priorité n'est pas de monter un réseau en vue d'échanger des idées et de connaître d'autres acteurs. Il est plutôt axé sur la gestion du manque de forces vives compétentes pour atteindre des tailles critiques et répondre aux sollicitations à court terme, voir à très court terme de ce domaine.

En résumé, l'intérêt de ce réseau n'est pas vraiment une priorité pour 2008-2009. Il faudrait en élargir les contours pour intégrer des acteurs nouveaux liés aux applications bâtiment et transport pour qu'il puisse y avoir émergence d'axes de recherche novateurs.