

## Présentation des projets financés au titre de l'édition 2010 du Programme Habitat intelligent et solaire photovoltaïque

<b>ACRONYME</b> - titre du projet	<b>Page</b>
<b>BOLID</b> - Suppression des effets de dégradation sous éclairement du rendement des cellules photovoltaïques au silicium solaire	3
<b>CANASTA</b> - Nouvelles procédés plasma pour fabriquer les cellules photovoltaïques en couches minces de carbure de silicium	5
<b>CEPHORCAS</b> - CELLules PHOtovoltaïques Organiques à Couche active Stabilisée	7
<b>FIABILITE</b> - Fiabilité des prévisions des performances énergétiques des bâtiments	9
<b>HYGRO-BAT</b> - Vers une méthode de conception HYGRO-thermique des BATiments performants	11
<b>MEMOIRE</b> - Mesure Enrichie par la MOdélisation pour une conception Intelligente en Rénovation Energétique	13
<b>MOSAIQUE</b> - Moulage de plaquettes de silicium pour application photovoltaïque	15
<b>NovACEZ</b> - Nouveaux Absorbours chalcochénures à base de Cuivre, Étain et Zinc pour le photovoltaïque en couches minces	17
<b>PLUMES</b> - Plateforme Logicielle Unifiée de Modélisation pour l'Efficacité énergétique du bâtiment et de ses Systèmes	19
<b>PROTERRA</b> - PROcédés avancés utilisant des matières premières aLTERNatives pour une pROduction économique des cellules et modules photovoltaïques à hAut rendement	21
<b>SUPERBAT</b> - SimUler pour PilotER les BATiments efficaces	23

**BOLID - Suppression des effets de dégradation sous éclairage du rendement des cellules photovoltaïques au silicium solaire**

**Résumé**

L'industrie photovoltaïque (PV) connaît depuis une quinzaine d'années une très forte croissance. Cette industrie est dominée par la filière du silicium cristallin. Toutefois, pour que cette industrie reste compétitive, il est indispensable de diminuer le coût de production des modules PV, ainsi que d'élargir les sources d'approvisionnement en silicium. Également il est important de diminuer l'impact environnemental de cette filière (bilan carbone, émission d'agents polluants), puisque cet aspect sera de plus en plus pris en considération. Ces trois objectifs peuvent être atteints par l'utilisation de charges de silicium solaire, à bas coût, purifiées par des voies métallurgiques. Ces nouvelles solutions alternatives de purification du silicium sont à l'étude dans de grandes sociétés mondiales (ELKEM, Dow Corning) et en France au travers du consortium PHOTOSIL.

Ces nouveaux procédés de purification permettent l'obtention de coûts complets de production inférieurs à 15 €/kg pour la charge de silicium, et permettent l'obtention de cellules avec des rendements de conversion voisins de 16%. Toutefois, les charges obtenues par purification métallurgique contiennent des concentrations bien plus élevées en espèces dopantes (bore, phosphore et aluminium) et en éléments légers (oxygène, carbone, azote) que les charges purifiées par voie chimique. En particulier ce silicium est très sensible à la formation sous éclairage de complexes associant le bore et l'oxygène, qui sont à l'origine de dégradations très conséquentes du rendement de conversion, entre 0,5% et 2% absolu ! Outre la perte en puissance énergétique qui rend du point de vue économique l'utilisation d'un matériau bas coût peu crédible, cette dégradation affecte « l'image commerciale » de ces cellules.

Ainsi cette dégradation constitue actuellement le principal verrou concernant une industrialisation pérenne des nouvelles filières de production du silicium par voie métallurgique. Il est donc indispensable de mettre en place des procédés innovants, transférables à l'industrie, permettant de supprimer ces diminutions sous éclairage du rendement de conversion. Ceci constitue la finalité du projet BOLID. L'atteinte de ces objectifs nécessite un travail scientifique et technique de haut niveau, afin de mieux comprendre la spécificité des effets de LID (pour "light-induced-degradation") dans ce nouveau matériau, et surtout pour développer des procédés "d'ingénierie des défauts" innovants, efficaces et transférables à l'industrie, pour supprimer les effets délétères des complexes bore-oxygène sur les performances des cellules.

La réussite du projet BOLID facilitera l'essor industriel de ces nouveaux procédés de purification par voie métallurgique du silicium. Également, la réussite du projet BOLID permettra aux fabricants industriels de cellules de réduire les coûts de fabrication de leurs modules, en leur permettant d'utiliser des charges bas coûts, purifiées par voie métallurgique, tout en facilitant les problèmes d'approvisionnement en silicium charge. Du point de vue environnemental, la réussite du projet BOLID, en permettant l'essor industriel de procédés de purification moins polluants, et aux installations industrielles moins dangereuses que les procédés de purification par voie chimiques, diminuera l'impact environnemental du procédé de fabrication des modules PV, et leur temps de retour en énergie.

**Partenaires**

CEA/LITEN-INES  
 Université Paul Cézanne Aix-Marseille III - IM2NP  
 CNRS - INL - UMR5270  
 CEA-INAC/SP2M  
 PHOTOWATT

**Coordinateur**

M Sébastien DUBOIS - CEA/LITEN-INES  
 sebastien.dubois2@cea.fr

**Aide de l'ANR**

829 k€

**Début et durée**

Janvier 2011 - 36 mois

**Référence**

ANR-10-HABISOL-001

**Label pôle**

TENERRDIS

Titre du projet	
<b>CANASTA - Nouvelles procédés plasma pour fabriquer les cellules photovoltaïques en couches minces de carbure de silicium</b>	
<b>Résumé</b>	<p>La capacité de production photovoltaïque (PV) continue son étonnante progression, avec une croissance annuelle moyenne de 50% entre 2001 et 2008. Suivant cette croissance, la production PV des cellules en couches minces de grande surface a maintenu sa part de marché à environ 10%, mais la technologie qui devait s'imposer, le concept micromorphe, i.e. l'association tandem de couches minces de silicium amorphe hydrogéné (a-Si:H) et de silicium nanocristallin (nc-Si:H), n'a pas complètement rempli ses objectifs. Ceci provient d'une part de la concurrence de la filière à base de tellurure de cadmium (CdTe), et d'autre part des avancées plus lentes que prévu dans l'augmentation des rendements stabilisés des dispositifs de type micromorphe. En dépit des améliorations progressives de la technologie du silicium en couche mince, le concept micromorphe continue d'être limité par deux facteurs :</p> <p>(1) une propriété fondamentale du a-Si:H, sa dégradation métastable provoquée par la lumière, et (2) la vitesse de dépôt lente du nc-Si:H.</p> <p>Ce projet vise à trouver une solution pour ces deux facteurs limitants : premièrement, en supprimant la barrière fondamentale à la stabilité des cellules micromorphes en éliminant le a-Si:H et en le remplaçant par un alliage hydrogéné de carbure de silicium nanocristallin, et deuxièmement, en déposant du silicium nc-Si:H de bonne qualité à grande vitesse de dépôt. Les avantages de la cellule PV tandem micromorphe peuvent être ainsi maintenus (rendement élevé à bas coût du fait de l'utilisation de couches minces à base de silicium et carbone, matériaux non toxiques et très abondants), tout en ouvrant de nouvelles voies en termes de rendement stabilisé de cellules.</p> <p>Le principal défi du projet CANASTA (Carbon Alloyed Nanocrystalline Silicon Tandem) est d'obtenir du carbure de silicium nanocristallin de bonne qualité électronique à basse température (<math>T &lt; 300^{\circ}\text{C}</math>).</p> <p>Ce défi sera relevé en utilisant des techniques originales de dépôt avec de nouveaux systèmes de commande de flux des gaz précurseurs. Pour garantir le maximum de degrés de liberté dans les conditions de dépôts, trois stratégies originales de dépôt seront étudiées pour ce matériau innovant, afin d'engranger le maximum de connaissances sur les processus physiques spécifiques requis pour fabriquer du matériau de bonne qualité électronique. Une de ces techniques (faisant actuellement l'objet d'un dépôt de brevet par le LPP et le LPICM), l'utilisation des nouvelles formes d'onde d'excitation du plasma, sera également appliquée pour relever le défi de la vitesse de dépôt élevée du nc-Si:H, le deuxième composant crucial dans le concept CANASTA.</p> <p>En outre, le projet s'attaque à un autre verrou important pour le développement de nouveaux matériaux PV en couche mince : la mise au point de méthodes fiables de caractérisation des propriétés de transport électroniques permettant de sonder l'homogénéité en profondeur des couches intrinsèques et de déterminer ces propriétés dans la direction transverse (perpendiculaire à la surface des couches), qui est précisément la direction importante pour une cellule PV. En effet, la plupart des méthodes de caractérisation des couches minces sondent les propriétés de transport dans le plan des couches. Ceci n'est pas un handicap pour des matériaux isotropes comme le a-Si:H, mais dans le cas de matériaux pouvant avoir une structure non isotrope tels nc-Si:H et nc-SiC:H, ces techniques usuelles peuvent aboutir à des conclusions erronées et orienter les recherches dans une mauvaise direction.</p> <p>Le projet abordera ce problème en développant deux nouvelles techniques de caractérisation avancée, à savoir la technique de photocourant par interférométrie laser à longueur d'onde d'excitation variable, et une extension de la technique de spectroscopie de phototension de surface adaptée aux couches minces. Ces techniques seront utilisées pour guider le processus d'optimisation du matériau nouveau nc-SiC:H et du nc-Si:H déposé à grande vitesse.</p>
<b>Partenaires</b>	CNRS - LPICM CNRS - LPP SUPELEC - LGEP
<b>Coordinateur</b>	M Erik JOHNSON - CNRS - LPICM erik.johnson@polytechnique.edu
<b>Aide de l'ANR</b>	567 k€
<b>Début et durée</b>	Janvier 2011 - 36 mois
<b>Référence</b>	ANR-10-HABISOL-002
<b>Label pôle</b>	

**Résumé**

L'obtention d'une morphologie à l'échelle nanométrique est critique pour optimiser à la fois la séparation des charges et assurer leur collecte aux électrodes. Les paramètres pour contrôler la structure de la morphologie sont maintenant bien établis, mais la ségrégation de phases est inévitable au cours du fonctionnement. Ce projet vise à apporter des améliorations de la stabilité de la morphologie du mélange donneur/accepteur en utilisant des matériaux réticulables pour la couche active qui permettront de la figer au sein d'un réseau chimique. L'état de l'art national et international sur ce sujet montre que cette approche a très peu été abordée et les quelques résultats présentés sont prometteurs, ce qui rend ce projet stratégique. Plusieurs types de matériaux seront développés : des polymères donneurs dérivés du polythiophène pouvant être réticulés par post-traitement, des dérivés du polythiophène réticulables sur l'accepteur de type fullerène et enfin des dérivés du fullerène réticulables.

Il est essentiel d'aborder ces différentes voies pour à mi-parcours du projet pouvoir discriminer celle qui paraîtra la plus appropriée. En effet, il est visé que le post-traitement à mettre en oeuvre pour obtenir la réticulation soit simple (processus thermique ou photochimique) pour ne pas alourdir la phase de préparation des cellules (le cas idéal étant la réticulation lors du fonctionnement à l'exposition au soleil). Sur la base de ce choix, la deuxième partie du projet sera consacrée à la caractérisation approfondie des matériaux utilisés, y compris l'optimisation de la préparation des dispositifs en passant par une optimisation fine de la formulation des encres PV avec notre partenaire industriel RHODIA. Une étude complète du vieillissement sera réalisée sur les matériaux afin d'évaluer leur stabilité dans des conditions contrôlées (en absence d'oxygène et avec des taux contrôlés d'oxygène et d'eau) et d'expliquer les éventuels processus de dégradation. Enfin, les caractéristiques photovoltaïques des cellules préparées avec ces matériaux réticulés seront suivies dans le temps par vieillissement accéléré sous irradiation continue.

**Partenaires**

IPB - IMS  
Université de Pau et des Pays de l'adour - IPREM  
Université d'Angers - MOLTECH  
ENSCM - AM2N  
CNRS - LPMM  
RHODIA

**Coordinateur**

M Guillaume Wantz - IPB - IMS  
guillaume.wantz@free.fr

**Aide de l'ANR**

783 k€

**Début et durée**

Janvier 2011 - 36 mois

**Référence**

ANR-10-HABISOL-003

**Label pôle**

Titre du projet	
<b>FIABILITE - Fiabilité des prévisions des performances énergétiques des bâtiments</b>	
<b>Résumé</b>	<p>Le projet est centré sur la question fondamentale de la validité des modèles et des codes de simulation thermique et énergétique des bâtiments, ainsi que sur celle de la fiabilité des résultats de simulation au regard des incertitudes auxquels ils sont soumis. Son objectif est de développer des méthodes efficaces (robustes et à frais de calcul modeste) et des méthodologies appropriées pour juger de la qualité des résultats de simulation en termes de justesse (biais) et de fiabilité, pour proposer éventuellement des voies d'amélioration des modèles sous-jacents et pour identifier les facteurs, externes ou intrinsèques, contribuant significativement aux incertitudes des prévisions.</p> <p>Il s'agit tout d'abord d'identifier de façon structurée, en parcourant les mondes technologique, physique, mathématique, numérique et algorithmique, les simplifications/approximations couramment adoptées dans la modélisation énergétique des bâtiments et des systèmes susceptibles d'engendrer des biais significatifs dans les prévisions.</p> <p>Le projet propose ensuite d'évaluer en partie ces biais au travers de cas tests numériques appropriés, où les modèles « standard » seraient confrontés à des modèles « améliorés ». Enfin, des plateformes expérimentales disposant d'instrumentation conséquente seront exploitées pour développer des méthodes efficaces pour la validation expérimentale de modèles, permettant de dégager des voies d'amélioration (si nécessaire) en identifiant les hypothèses de modélisation faisant défaut.</p> <p>Afin de mener à bien les objectifs précédents, il est nécessaire d'identifier de façon structurée l'ensemble des facteurs (externes et intrinsèques) susceptibles d'engendrer des incertitudes significatives sur les résultats de simulation et examiner leur nature (subjective ou aléatoire).</p> <p>Il s'agit ensuite d'analyser la sensibilité des modèles afin d'identifier les facteurs les plus influents sur les prévisions et susceptibles par conséquent d'engendrer des incertitudes significatives sur ces résultats. Il s'agit enfin de développer des méthodes robustes et efficaces en terme de temps de calcul pour propager des incertitudes (subjectives ou aléatoires, corrélées ou indépendantes) à travers les modèles, voire les codes de simulation.</p> <p>Aussi, afin de diffuser au mieux les méthodes issues du projet, il est envisagé d'implémenter les développements au travers de prototype des outils métiers de simulation des performances énergétiques des bâtiments (Comfie notamment) et de l'outil réglementaire CCMA (Bbio RT2012). Ces développements seront assortis d'une évaluation par des bureaux d'études sur des opérations concrètes de construction neuve ou réhabilitation afin d'identifier les apports de la caractérisation des incertitudes sur le processus de décision. In fine la diffusion de ces outils à l'issu du projet aidera à rendre familières les notions de fiabilité et d'incertitudes dans le milieu professionnel.</p>
<b>Partenaires</b>	CNRS - TREFLE Université de la Réunion - LPBS Université de Savoie - LOCIE ARMINES - CEP CEA-LITEN EDF R&D / EnerBAT Grenoble INP - G2ELab CSTB Grenoble INP - G-SCOP INSA-Lyon - CETHIL
<b>Coordinateur</b>	M Laurent Mora - CNRS - TREFLE laurent.mora@u-bordeaux1.fr
<b>Aide de l'ANR</b>	1073 k€
<b>Début et durée</b>	Janvier 2011 - 36 mois
<b>Référence</b>	ANR-10-HABISOL-004
<b>Label pôle</b>	TENERRDIS

Titre du projet	
<b>HYGRO-BAT - Vers une méthode de conception HYGRO-thermique des BATiments performants</b>	
<b>Résumé</b>	<p>Depuis quelques années, la problématique des transferts couplés de masse et de chaleur fait l'objet d'un surcroît d'intérêt de la part de la communauté scientifique en charge de la thermique et de l'énergétique du bâtiment. La raison principale de cette évolution est le rôle, peu à peu révélé, des transferts de masse sur le comportement énergétique réel du bâtiment, soumis aux sollicitations de son environnement.</p> <p>Malgré les développements récents dans ce domaine, des zones d'ombre persistent. En particulier des écarts entre les mesures et les simulations numériques dans le cas des sollicitations dynamiques des matériaux à forte hygroscopicité ont été constatés dans différents projets français et internationaux (Annexes 24 et 41 de l'Agence Internationale de l'Energie, ANR PREBAT OPTI-MOB). L'origine de ces écarts n'est pas véritablement connue : la métrologie, les caractéristiques des matériaux, les modèles thermo-hyriques eux-mêmes ?</p> <p>Les projets passés et en cours mettent en évidence la complexité de la problématique, mais n'ont pas permis d'élucider l'origine de ces écarts ni de mettre en place des outils adaptés. Or, la réponse à cette problématique est fondamentale, car des gisements énergétiques sont précisément attendus dans l'étude des comportements dynamiques. En effet, le peu de travaux abordant cette thématique révèlent des économies potentielles d'énergie dépassant 30 %.</p> <p>En mettant en commun l'expérience des principaux acteurs français du domaine et une approche type « benchmark » expérimentale et numérique nous avons pour ambition de maîtriser les phénomènes en jeu et de proposer des outils expérimentaux (méthodologie de caractérisation) et numériques (simulations dynamiques prédictives), adaptés.</p> <p>Notre principal objectif est de mettre au point une méthodologie de conception hygrothermique des bâtiments, s'appuyant sur des outils et des méthodes fiables et permettant de qualifier et de quantifier des solutions techniques innovantes exploitant la dimension de la thermique liée aux transferts de masse. Pour concrétiser et consolider cette démarche, nous proposons de nous adosser au cas concret de la construction bois et plus globalement des matériaux à base végétale, compte tenu de leurs propriétés hygroscopiques maximales, présentant des configurations d'études complexes et ayant l'avantage, en outre, de se positionner sur un marché porteur.</p> <p>Notre démarche sera progressive, en partant des bases de métrologie et de caractérisation des matériaux, garants de la fiabilité d'alimentation des modèles. Puis nous nous lancerons dans des mesures et des simulations sur des assemblages simples sous des sollicitations dynamiques maîtrisées.</p> <p>Nous aborderons alors l'échelle plus complexe du bâtiment et les sollicitations en climat réel, sous un angle « idéalisé » dans un premier temps (cellules expérimentales bien maîtrisées PASSYS) puis en vraie grandeur avec l'exploitation d'une maison à ossature bois. La démarche s'achèvera par des propositions d'évolution de la normalisation et de la réglementation permettant de valoriser de façon rigoureuse et fiable les solutions hygrothermiques les plus performantes.</p> <p>Le programme ambitieux de notre projet est ainsi porté par un consortium composé de sept laboratoires universitaires reconnus (CETHIL, LEPTIAB, TREFLE, LERFOB, LERMAB, LOCIE, LMDC), de trois centres type EPIC (CEA-INES, CRITT-Bois, CSTB) et de trois industriels (EDF, LIGNATEC, NR GAÏA).</p>
<b>Partenaires</b>	Université Claude Bernard - CETHIL Univ. Henri Poincaré - LERMAB ECOLE CENTRALE PARIS - LGPM Université de la Rochelle - LEPTIAB CEA/LITEN-INES EDF Arts & Métiers ParisTech - TREFLE Université Paul Sabatier - LMDC Université de Savoie - LOCIE CSTB CRITT Bois LIGNATEC nr Gaïa
<b>Coordinateur</b>	Mme Monika WOLOSZYN - Université Claude Bernard - CETHIL monika.woloszyn@univ-lyon1.fr
<b>Aide de l'ANR</b>	1694 k€
<b>Début et durée</b>	Janvier 2011 - 48 mois
<b>Référence</b>	ANR-10-HABISOL-005
<b>Label pôle</b>	AXELERA, TENERDIS, Fibres Grand Est, Xylofutur

Titre du projet	
<b>MEMOIRE - Mesure Enrichie par la MOdélisation pour une conception Intelligente en Rénovation Energétique</b>	
<b>Résumé</b>	<p>Ce projet a pour objectif de développer une méthode d'audit basée sur l'association de la mesure et de la modélisation afin de permettre des choix pertinents de solutions de rénovation et d'aboutir à des performances énergétiques effectives après rénovation.</p> <p>Par rapport aux méthodes existantes, l'originalité de cette méthode est que d'une part elle s'attache à déterminer avec exactitude la performance intrinsèque du bâtiment et d'autre part elle vise à apprécier l'usage et le fonctionnement du bâtiment.</p> <p>L'identification des caractéristiques thermiques intrinsèques du bâtiment est réalisée en deux phases : une première phase de mesures in situ et une deuxième phase par l'inversion de modèles thermiques et aérauliques.</p> <p>L'appréciation de l'usage et du fonctionnement du bâtiment est basée sur la combinaison de quelques points de mesures en lien avec la méthode d'identification, sur d'éventuels points de mesures directs et spécifiques, et sur les de résultats d'enquête qui se distingue par son caractère 'opérationnel' pour une utilisation et une application effectives et adaptées aux circonstances de l'audit pour tout type d'usager ou de gestionnaire du bâtiment.</p> <p>La méthode globale d'audit intègre un modèle de comportement thermique du bâtiment dont les données d'entrées sont issues des développements réalisés dans ce projet.</p> <p>Au-delà du développement scientifique de la méthode et de sa validation selon les procédures usuelles, il est proposé dans le cadre de projet d'étudier sa faisabilité économique et son acceptabilité par les différents acteurs et d'étudier son applicabilité sur le terrain à travers trois projets pilotes.</p> <p>Le projet s'inscrit dans la professionnalisation des métiers de l'audit et de la rénovation pour garantir la pertinence économique des ravaux proposés, leur réelle efficacité énergétique et leur acceptation par les usagers des bâtiments à travers les impacts positifs sur la maîtrise des charges et le confort.</p>
<b>Partenaires</b>	<p>CSTB Solamen Laboratoire Central des Ponts et Chaussées - LCPC Université de la Rochelle - LEPTIAB CETE-OUEST</p>
<b>Coordinateur</b>	<p>Mme Rofaïda LAHRECH - CSTB rofaïda.lahrech@cstb.fr</p>
<b>Aide de l'ANR</b>	<p>705 k€</p>
<b>Début et durée</b>	<p>Janvier 2011 - 36 mois</p>
<b>Référence</b>	<p>ANR-10-HABISOL-006</p>
<b>Label pôle</b>	<p>Advancity</p>

Titre du projet	
<b>MOSAIQUE - Moulage de plaquettes de silicium pour application photovoltaïque</b>	
<b>Résumé</b>	<p>L'objectif du projet MOSAIQUE est de proposer une solution innovante d'élaboration de silicium PV fondée sur la cristallisation dirigée de plaques de silicium moulées en parallèle.</p> <p>Par rapport à la préparation des plaquettes de silicium PV par découpe dans des lingots élaborés par cristallisation dirigée, la méthode proposée présente l'avantage d'éviter la perte importante de matière (40 %) et le surcoût liés à l'opération de découpe. Et par rapport aux procédés au défilement étudiés jusqu'à présent, le nouveau procédé devrait permettre un meilleur contrôle de la microstructure cristalline tout en préservant une productivité élevée. Par ailleurs, ce procédé peut s'intégrer dans des fours de cristallisation industriels existants et ne nécessiterait pas, comme pour des technologies ruban, des investissements lourds.</p> <p>La première partie du projet sera consacrée à la mise au point d'un matériau de moule et du revêtement associé devant permettre un détachement spontané du silicium au cours du refroidissement. Cette mise au point sera appuyée sur une étude expérimentale du mouillage et de l'adhésion du silicium sur le matériau de moule revêtu. Les résultats de cette étude seront utilisés pour développer un procédé de moulage à l'échelle laboratoire. Il s'agira alors de maîtriser : l'infiltration du moule par le silicium liquide, les phénomènes de germination hétérogène de cristaux de silicium au contact du revêtement, la morphologie de surface et la microstructure finales des plaques de silicium solidifiées, ainsi que la pollution du silicium pendant le moulage. Les paramètres optimaux ainsi déterminés seront utilisés pour élaborer des plaquettes à partir desquelles on réalisera des cellules photovoltaïques dont les performances permettront d'évaluer les potentialités de la méthode de moulage.</p> <p>Le projet proposé est une recherche industrielle en partenariat. Il sera mené en s'appuyant sur les connaissances fondamentales des trois laboratoires participant à ce projet, spécialisés dans les phénomènes de mouillage et d'adhésion, de germination, de croissance cristalline et de ségrégation, ainsi que de diffusion et de précipitation dans Si solide en relation avec les performances électriques de ce matériau. La mise en application du procédé reposera sur les compétences techniques de deux sociétés industrielles, l'une impliquée dans la mise au point du matériau du moule et de son revêtement, et l'autre dans la conception et la réalisation de la partie thermique du procédé (four de moulage).</p>
<b>Partenaires</b>	CEA/LITEN-INES Mersen CNRS - SIMaP CNRS - InESS ECM
<b>Coordinateur</b>	M Denis CAMEL - CEA/LITEN-INES denis.camel@cea.fr
<b>Aide de l'ANR</b>	756 k€
<b>Début et durée</b>	Janvier 2011 - 36 mois
<b>Référence</b>	ANR-10-HABISOL-007
<b>Label pôle</b>	TENERRDIS

Titre du projet	
<b>NovACEZ - Nouveaux Absorbteurs chalcochénures à base de Cuivre, Étain et Zinc pour le photovoltaïque en couches minces</b>	
<b>Résumé</b>	<p>Les cellules solaires à base de CIGS sont sur la voie de l'industrialisation, et la filière CdTe montre une réussite éclatante avec le succès de First Solar. Néanmoins il y a des doutes sur la disponibilité de l'indium à long terme et des difficultés liées à la manipulation du cadmium. Il est donc nécessaire de prévoir une filière de remplacement de ces technologies à moyen terme. Une solution possible est de remplacer l'indium dans les chalcopyrites par une paire constituée d'un atome de zinc et d'un atome d'étain. Ce matériau, noté CZTS pour Cuivre Zinc Étain Soufre, est prometteur et a déjà montré des rendements de l'ordre de 10 %.</p> <p>Ce projet vise à développer une filière française du CZTS, en travaillant à la fois sur la compréhension de la cristalochimie et de la structure de bande et sur le développement des procédés de synthèse. De cette façon un transfert de technologie est envisageable à moyen terme vers des entreprises françaises susceptibles de développer cette technologie industriellement.</p> <p>En parallèle d'études cristalochimiques et de simulation ab initio visant à améliorer la compréhension des matériaux de type CZTS, trois filières technologiques pour le dépôt de la couche de CZTS seront explorées :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- une technique de dépôt sous vide qui a le meilleur potentiel en terme de rendements</li><li>- deux techniques chimiques, l'électrodépôt et les nanoparticules, dont les équipes impliqués sont spécialistes, et qui sont maîtrisées par les entreprises partenaires du projet.</li></ul>
<b>Partenaires</b>	EDF - IRDEP CNRS - IRDEP CNRS - IMN CNRS - ILV OMG Nexcis CEA - LITEN UPS - CIRIMAT Screen Solar
<b>Coordinateur</b>	M Sébastien Delbos - EDF - IRDEP sebastien.delbos@edf.fr
<b>Aide de l'ANR</b>	1492 k€
<b>Début et durée</b>	Janvier 2011 - 42 mois
<b>Référence</b>	ANR-10-HABISOL-008
<b>Label pôle</b>	

**Résumé**

Les enjeux liés à l'économie d'énergie et la place importante du secteur de la construction et du Bâtiment dans ces derniers ne sont plus à présenter. Améliorer les performances énergétiques du bâtiment impose non seulement de travailler sur les enveloppes, mais également de fournir des supports de travail performants et fiables aux acteurs de la filière pour tout ce qui concerne la modélisation et la simulation (la bonne prise en compte des aspects énergétiques dans le cycle de vie en dépend). Les outils logiciels proposés sur ce segment sont nombreux, et pour beaucoup fournissent déjà des résultats de grande qualité. S'il est nécessaire de chercher à encore les améliorer, il faut aussi noter que les enjeux ne se situent pas seulement au niveau de la fiabilité et de la précision des outils, mais également au niveau de leur interopérabilité et de leur connexion aux autres outils du cycle de vie du bâtiment.

Ces deux aspects sont en effet cruciaux pour la généralisation de l'utilisation des outils de modélisation et pour l'obtention du gain global sur les performances énergétiques qui en découlerait. A cette fin, le projet PLUMES se propose de fournir:

- Une approche de modélisation unifiée, indépendante de tout outil ou format de modélisation et du métier ciblé,
- complétée d'une plateforme logicielle aisée à coupler avec les outils du cycle de vie du bâtiment (et tout particulièrement avec les outils de CAO),
- s'appuyant sur l'offre existante en modélisation/simulation.

Le projet s'inscrit pleinement dans le sous-thème 1.4 ("Modélisation et outils d'aide à la conception") de l'axe thématique 1 ("Approches systèmes") de l'appel à projet Habisol 2010, qui stipule explicitement la nécessité de traiter la question de l'interopérabilité: "Il s'agit aussi d'assurer l'interopérabilité (formats de données standards...) entre outils spécialisés dans différents domaines afin de proposer des solutions complètement intégrées."

Sur le plan scientifique et technique, interopérabilité et capitalisation des modèles sont les maîtres mots du projet. L'objectif principal du projet sera de développer une norme de composants de modélisation du bâtiment et de ses systèmes, interopérables, adressant plusieurs physiques, et pouvant s'exécuter sur différentes plateformes de simulation. Cette norme, appelée MUSE – MUSE signifiant Modèle Unifié pour les Systèmes Énergétiques des bâtiments –, aura les caractéristiques suivantes:

- Interopérabilité : l'interopérabilité du composant Muse sera assurée par un niveau de « langage neutre », à partir duquel les composants exécutables seront générés;
- Multi-physique : les composants MUSE permettront de traiter l'ensemble des « physiques » au sens large intervenant dans la modélisation d'un bâtiment.

Dans le cadre du projet, on traitera en particulier la thermique, l'électrique, le contrôle-commande et on y intégrera la possibilité de modéliser les usages, ainsi que des aspects financiers (coûts d'investissements, coûts d'utilisation). Les composants seront extensibles vers d'autres physiques, non traitées a priori dans le cadre du projet (éclairage, aérodynamique ....)

- Multi-métiers : Un composant MUSE pourra intégrer plusieurs modèles permettant de traiter différents métiers : simulation, dimensionnement, pilotage, diagnostic, etc.

Le but de PLUMES sera donc de bâtir, à partir de cette norme MUSE, les éléments d'une plateforme logicielle unifiée pour la modélisation du bâtiment et de ses systèmes. Cette plateforme fournira l'ensemble des éléments logiciels permettant de créer et générer des composants MUSE, et de les exécuter dans des environnements cibles variés (TRNSYS, MODELICA, G-Home Tech sont envisagés dans le cadre du projet). Également, des modules de connexion entre les composants MUSE et la maquette numérique (format standard IFC) seront fournis.

Un premier ensemble de composants MUSE développés dans le cadre du projet permettront de valider l'approche dans sa globalité.

**Partenaires**

CEA  
CSTB  
EDF R&D / EnerBAT  
Grenoble INP / G2ELAB  
Grenoble INP / G-SCOP

**Coordinateur**

M Sylvain ROBERT - CEA  
sylvain.robort@cea.fr

**Aide de l'ANR**

850 k€

**Début et durée**

Janvier 2011 - 36 mois

**Référence**

ANR-10-HABISOL-009

**Label pôle**

**PROTERRA - PROCédés avancés utilisant des matières premières ALTERNatives pour une pROduction économique des cellules et modules photovoltaïques à hAut rendement**

**Résumé**

Dans le contexte très difficile du marché photovoltaïque d'aujourd'hui, la concurrence se fait de plus en plus rude et par conséquent on peut noter une très forte baisse du prix de vente des modules surtout de ceux qui viennent de Chine. Les résultats financiers de Photowatt sur l'ensemble de l'exercice de l'année 2009 ont été très mitigés. Cette dangereuse conjoncture fragilise et peut même, à moyen terme, mettre en danger la base de la filière photovoltaïque française. Pour faire face à cette situation, Photowatt doit mettre tous ses efforts pour redresser sa part de marché. Pour atteindre cet objectif, Photowatt accentuera ses actions urgentes de recherche pour aller vers des procédés de fabrication plus avancés et économiques. Ces procédés devront permettre d'obtenir le rendement de conversion des cellules qui doit rester parmi les meilleurs sur le plan international, avec une forte réduction de la consommation de silicium et des matières premières tout en respectant les exigences légales des normes environnementales et commerciales.

Cela ne pourra se faire sans innovations adaptables à la technologie actuelle, sujet sur lequel PHOTOWATT attend des partenaires nationaux (CEA/LITEN-INES, laboratoires du CNRS et équipementiers français) des résultats rapides à travers ce projet R&DT national nommé PROTERRA. L'objectif principal de ce programme est de parvenir dans un délai de 3 ans à la mise au point de procédés de fabrication innovants, permettant d'obtenir une augmentation du rendement de conversion moyen des cellules et des modules d'un point absolu par rapport à celui du procédé industriel actuel. On vise un rendement de conversion supérieur à 20% en silicium cristallin avec une réduction importante des coûts afin d'atteindre le coût de production de 1 Euro par Watt.

La démarche la plus judicieuse pour ce projet est évidemment de travailler simultanément sur les 2 axes : coûts des matières et procédés de fabrication plus performants. Pour obtenir les objectifs du projet, une nouvelle structure de la cellule jamais utilisée dans l'industrie PV française sera développée. Elle dispose d'un empilement de couches de passivation et antireflet, d'un émetteur passivable, d'une grille de contact face avant avec des lignes très fines formées au dessus des régions fortement dopées de l'émetteur, d'une face arrière passivée par diélectriques avec le champ électrique répulsif et du contact localisé. Différentes approches de traitement thermique seront utilisées afin d'atteindre d'excellents contacts métalliques en utilisant les matières alternatives et les nouveaux concepts de la métallisation. Ce projet durera 36 mois et se décomposera en cinq axes techniques:

- Ablation sélective/dopage localisé
- Métallisation avancée
- Passivation arrière par diélectriques
- BSF localisé
- Modules performants et recyclables.

Pour mener à bien ces axes techniques un partenariat pertinent et solide a été établi qui réunit autour de PHOTOWATT, un producteur photovoltaïque, les laboratoires du CNRS (INL de l'Insa de Lyon, IEMN), du CEA/LITEN qui se sont consacrés depuis plus de vingt ans à la conception et à l'élaboration de nouvelles structures des cellules photovoltaïques et une PME (TECHNIC IST) connue dans le domaine de la métallisation depuis plus de 25 ans. L'obtention des objectifs de PROTERRA, permettra de contribuer à la réduction du coût du photovoltaïque.

L'enjeu est de taille puisque pour créer des nouvelles embauches et de conserver les emplois de 800 personnes sur son site Isérois de Bourgoin-Jallieu, ces actions de recherches devront permettre à Photowatt de présenter sur le marché les modules de nouvelle génération plus performants améliorant fortement la compétitivité de l'industrie photovoltaïque française. Cela va certainement, augmenter les contributions du Photovoltaïque dans l'ensemble des ressources d'énergie pour améliorer la viabilité de la structure nationale d'approvisionnement énergétique.

**Partenaires** PHOTOWATT  
INSA-LYON - INL  
Technic IST  
CNRS - IEMN  
CEA/LITEN-INES

**Coordinateur** M Nam LE QUANG - PHOTOWATT  
N.LEQUANG@photowatt.com

**Aide de l'ANR** 1242 k€

**Début et durée** Janvier 2011 - 36 mois

**Référence** ANR-10-HABISOL-010

**Label pôle** TENERRDIS

**Résumé**

La mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement entraîne une mutation considérablement attendue du secteur du bâtiment. Il apparaît désormais que le monde de l'énergie et celui du bâtiment, qui depuis longtemps s'ignoraient, devront s'inventer un avenir commun. La volonté du Grenelle de l'Environnement est de donner aux différents acteurs du bâtiment les moyens pour concevoir des bâtiments à basse consommation (BBC) et à plus long terme des bâtiments à énergie positive (BEPOS). Cette mutation socio-économique fondée sur des besoins forts de modernisation du monde du bâtiment apportera de nouveaux besoins des outils de simulation et de la modélisation. Des outils de simulation ont été développés essentiellement pour la conception des bâtiments alors que les progrès les plus importants en terme d'économies d'énergie sont à faire en phase d'exploitation et maintenance des bâtiments.

La modélisation thermique embarquée dans des produits de gestion et pilotage est un appui prometteur à l'exploitation efficace des bâtiments. Dans ce contexte, les outils de simulation requièrent une modélisation plus précise, en terme de puissances appelées, du comportement énergétique du bâtiment, tous usages confondus et en particulier des usages spécifiques de l'électricité. Des questionnements émergent sur la capacité des méthodes de calcul actuelles de prédire et piloter la courbe de charge du bâtiment. La courbe de charge du bâtiment dépend du climat, de son enveloppe et de ses équipements mais également des interventions de l'occupant.

De nature interdisciplinaire, ce projet a comme objectif de dépasser 4 limitations, les plus ardents, des outils actuels de simulation dynamique du comportement énergétique du bâtiment :

- La plupart des outils de simulation sont conçus pour la prédiction des consommations énergétiques à des pas de temps de l'ordre de l'heure mais ne permettent pas de représentation infrahoraire (aux pas de temps compris entre 1 et 10 minutes) capitale pour l'estimation pertinente des appels de puissance.

- Les occupants qui ont un impact majeur sur les consommations d'énergie et en particulier sur les consommations spécifiques d'électricité sont modélisés de manière extrêmement sommaire à l'aide des scénarios conventionnels par pièces et sur une base de temps horaire.

- Les outils de simulation représentent relativement bien les consommations des usages chauffage, ventilation, eau chaude sanitaire, climatisation, auxiliaires à l'échelle du bâtiment mais modélisent mal les usages spécifiques de l'électricité alors même que ceux-ci représentent dans les bâtiments récents plus de la moitié des consommations d'énergie.

- Les modèles physiques n'exploitent pas la courbe de charge des bâtiments et d'autres mesures physiques (températures extérieures, intérieures, ensoleillements, ...) afin de permettre leur calage en temps réel ou différé par rapport à la réalité du terrain. Les développements de modèles stochastiques d'occupant/usages intégrés à la simulation dynamique ainsi que ceux par identification à partir de la courbe de charge permettront l'étude de cas d'applications représentatifs des problématiques industrielles dans le domaine de l'énergie dans le bâtiment résidentiel individuel : conception et gestion des BBC et BEPOS.

**Partenaires**

EDF R&D / EnerBAT  
CSTB  
INSA-LYON - CETHIL  
UJF- Grenoble I GE2LAB  
ENS Cachan - LMT  
Grenoble INP - G-SCOP

**Coordinateur**

M Christian Muresan - EDF R&D / EnerBAT  
cristian.muresan@edf.fr

**Aide de l'ANR**

905 k€

**Début et durée**

Janvier 2011 - 48 mois

**Référence**

ANR-10-HABISOL-011

**Label pôle**

TENERRDIS