

## Le Laboratoire PROMES PRocédés Matériaux et Energie Solaire

Le laboratoire PROMES (Procédés, Matériaux et Energie Solaire) est une Unité Propre de Recherche (UPR 8521) du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) qui travaille en partenariat étroit avec l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD). Il est rattaché à l'Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (INSIS) du CNRS. PROMES est un acteur majeur de la recherche sur l'énergie solaire en France et en Europe.

### PROMES en bref

П

- 3 sites dans les Pyrénées Orientales (Sud de la France) : 2 sites en Cerdagne (Centre du Four Solaire Félix Trombe à Odeillo, Centrale Solaire Thémis à Targasonne) et 1 site à Perpignan (Zone d'Activités de Tecnosud).
- 150 personnes : dont 85 personnels permanents (chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens et administratifs) et plus de 50 doctorants et post-doctorants.
- Des recherches pluridisciplinaires sur la conversion et l'utilisation de l'énergie solaire, en particulier l'énergie solaire concentrée.
- Des installations solaires uniques : Infrastructure de Recherche Nationale et Européenne



The PROMES laboratory (Processes, Materials and Solar Energy) is a Research Unit (UPR 8521) of the National Center for Scientific Research (CNRS) which works in close partnership with the University of Perpignan Via Domitia (UPVD). It is part of the Institute for Engineering and Systems Science (INSIS) of the CNRS. PROMES is a major player in solar energy research in France and in Europe.

### PROMES at a glance

- 3 locations in the Eastern Pyrenees (South of France): 2 in Cerdagne (Centre du Four Solaire Félix Trombe in Odeillo, Centrale Solaire Thémis in Targasonne) and 1 in Perpignan (Zone d'Activités de Tecnosud).
- 150 people: including 85 permanent staff (researchers, lecturers, engineers, technicians and administrative) and more than 50 doctoral and post-doctoral students.
- Multidisciplinary research on the conversion and use of solar energy, in particular concentrated solar energy.
- Unique solar facilities: National and European Research Infrastructure

ergie Solaire La recherche La recherche à caractère fondamental et appliqué menée à PROMES vise au développement de connaissances scientifiques et d'innovations technologiques. Elle intègre toutes les échelles pertinentes : de l'échelle atomique (nanomatériaux) à l'échelle des systèmes (centrales solaires) et des territoires (réseaux d'énergie). Elle est organisée en deux grands axes thématiques ("1. Matériaux et conditions extrêmes", "2. Conversion, stockage et transport de l'énergie") et un axe transversal ("3. Solaire concentré") et se décline au sein de huit équipes de recherche.

Les domaines d'intérêt et d'application sont diversifiés: centrales solaires thermodynamiques, systèmes photovoltaïques, carburants solaires, stockage et gestion de l'énergie thermique, matériaux résistant à haute température pour l'espace et l'énergie, procédés d'élaboration de couches minces à propriétés optiques contrôlées, climatisation solaire, prévision de la ressource solaire...

### L'enseignement et la diffusion des connaissances

PROMES est le laboratoire de référence pour les formations dans les domaines des énergies renouvelables et de l'énergie solaire de l'Université de Perpignan (UPVD): Master "Energie, parcours matériaux et procédés solaires", diplôme d'ingénieurs en Energies Renouvelables (Ecole d'Ingénieurs Sup'EnR), spécialisation en " solaire thermique" du Master européen EUREC (Association of European Renewable Energy Research Centres), etc.

Le four solaire d'Odeillo héberge également une exposition permanente qui présente les activités de recherche du laboratoire au grand public.

### L'innovation

Les recherches menées à PROMES conduisent à des innovations technologiques dans des domaines variés comme l'instrumentation, les récepteurs solaires, les matériaux et systèmes de stockage thermique... Le transfert technologique est réalisé avec le concours du CNRS et de la Société d'Accélération de Transfert de Technologie (SATT) Ax'LR. Les recherches donnent parfois lieu à la création de start-up (comme Ecotech-CERAM, dans le domaine du stockage de la chaleur)



### Research

The fundamental and applied research carried out at PROMES aims to develop scientific knowledge and technological innovations. It integrates all relevant scales: from the atomic scale (nanomaterials) to the scale of systems (solar power plants) and territories (energy networks). It is organized into two main thematic axes («1. Materials and extreme conditions», «2. Energy conversion, storage and transport») and a crosscutting axis («3. Concentrated solar energy») and is carried out by eight research teams.

The fields of interest and application are various: thermodynamic solar power plants, photovoltaic systems, solar fuels, thermal energy storage and management, high-temperature resistant materials for space and energy, thin-film processes with controlled optical properties, solar air conditioning, solar resource forecasting...

### Education & Dissemination of knowledge

PROMES is the reference laboratory for training courses in the fields of renewable energies and solar energy at the University of Perpignan (UPVD): Master's degree in «Energy (Materials and Solar Processes programme)», Engineering degree in Renewable Energies (Sup'EnR Engineering School), «solar thermal» specialisation of the European Master EUREC (Association of European Renewable Energy Research Centres) ...

A permanent exhibition housed in Odeillo's premises also presents the laboratory's research activities to the public.

### **Innovation**

The research carried out at PROMES leads to technological innovations in various fields such as instrumentation, solar receivers, materials and thermal storage systems... The technology transfer is carried out with the support of the CNRS and the Ax'LR Technology transfer accelerator (SATT). Research may lead to the creation of start-ups (such as Ecotech-CERAM, in the field of thermal storage).



# Les moyens solaires et l'Infrastructure nationale de Recherche "FR-SOLARIS" sur le solaire concentré\*

Les installations solaires à concentration opérées par PROMES sont localisées à Odeillo et à Targasonne, en Cerdagne, région caractérisée par une excellente ressource solaire directe (l'une des meilleures de France : DNI 1900 kWh/m²/an). Elles constituent l'Infrastructure de Recherche Nationale du CNRS "FR-SOLARIS", reconnue par le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI). Cette infrastructure qui regroupe les différentes technologies solaires à concentration comprend :

- à Odeillo: 12 fours solaires de 1,5 à 1000 kW de puissance thermique (avec leurs 68 héliostats), 1 microcentrale cylindro-parabolique de 150 kW et 1 parabole de 50 kW.
- à Targasonne: 1 tour solaire (Thémis) de 5000 kW avec 107 héliostats (propriété du Conseil Départemental des Pyrénées Orientales).

Un service spécifique de huit personnes (SISIA) assiste les utilisateurs et s'investit quotidiennement pour améliorer les performances et le potentiel de ces installations et ainsi les maintenir au meilleur niveau international.

projet SOCRATE (solaire concentré, recherches avancées et technologies énergétiques) a récemment permis la rénovation de certaines installations solaires et la construction de la microcentrale cylindro-parabolique de 150 kW. L'équipement d'excellence SOCRATE et le laboratoire d'excellence SOLSTICE (solaire : sciences, technologies, innovations pour la conversion d'énergie) sont 2 projets du Programme National Investissements d'Avenir (PIA) qui sont pilotés par PROMES.

### La dimension européenne

FR-SOLARIS constitue le nœud français de EU-SOLARIS (The European Distributed Research

Infrastructure for CSP/STE Technologies), projet européen d'infrastructure (ESFRI, FP7) coordonné par le CIE-MAT (Espagne) qui réunit les grandes installations solaires à concentration européennes destinées à la recherche (12 partenaires de 8 pays). PROMES est l'un des principaux partenaires du projet européen SFERA-III (Solar Facilities for the European Research Area, Call H2020-INFRAIA-2018-2020, Integrating and opening research infrastructures of European interest) qui promeut l'accueil d'équipes de recherche étrangères sur ces infrastructures. PROMES coordonne également plusieurs projets de recherche européens qui mettent en jeu ses installations solaires à concentration.

## Solar facilities and "FR-Solaris" National Research Infrastructure on concentrated solar energy \*

The concentrated solar facilities operated by PROMES are located in Odeillo and Targasonne, in Cerdagne, a region characterized by an excellent direct solar resource (one of the best in France: DNI 1900 kWh/m²/year). They constitute the "FR-SOLARIS" National Research Infrastructure of the CNRS, recognized by the Ministry of Higher Education, Research and Innovation (MESRI). This infrastructure, which brings together the various concentrated solar technologies, includes:

- In Odeillo: 12 solar furnaces (with their 68 heliostats) whose thermal power ranges between 1.5 and 1000 kW, 1 micro parabolic trough power plant of 150 kW and 1 parabola of 50 kW.
- In Targasonne : 1 solar tower (Themis) of 5000 kW with 107 heliostats (facility owned by the Departmental Council of the Eastern Pyrenees).



A PROMES' specific department (SISIA, 8 people) support users and works daily to improve the performance and potential of these facilities and thus maintain them at the highest international level.









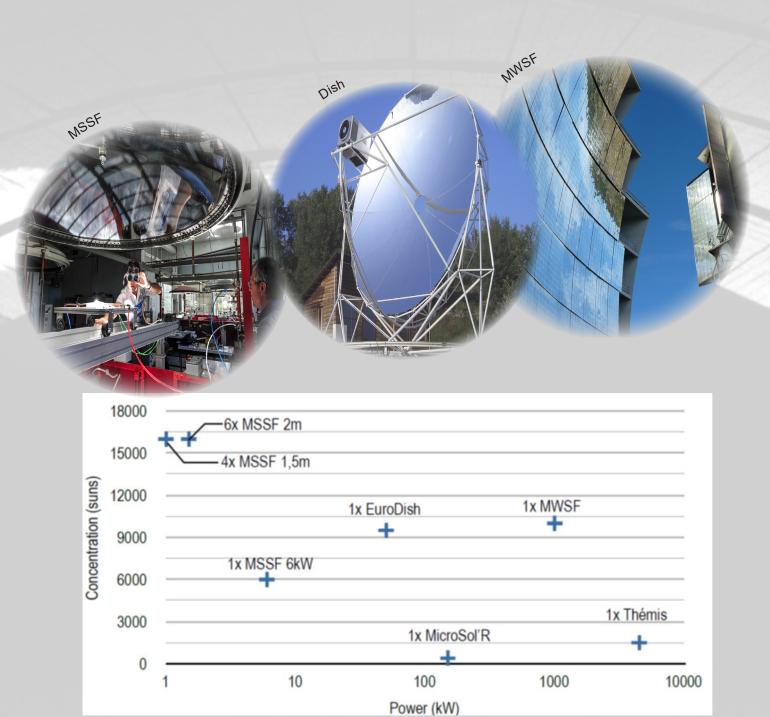


The SOCRATE project (concentrated solar energy, advanced research and energy technologies) has recently made it possible to restore some of the solar facilities and build the 150 kW micro-parabolic trough power plant. The SOCRATE equipment of excellence and the SOLSTICE laboratory of excellence (solar: science, technology, innovations for energy conversion) are 2 projects of the National Programme for Future Investments (PIA) which are managed by PROMES.

### European dimension

FR-SOLARIS is the French node of EU-SOLARIS (The European Distributed Research Infrastructure for

CSP/STE Technologies), a European infrastructure project (ESFRI, FP7) coordinated by CIEMAT (Spain) which brings together the major European concentrated solar installations for research (12 partners from 8 countries). PROMES is one of the main partners of the European project SFERA-III (Solar Facilities for the European Research Area, Call H2020-INFRAIA-2018-2020, Integrating and opening research infrastructures of European interest) which promotes the hosting of foreign research teams on these infrastructures. PROMES also coordinates several European research projects involving its concentrated solar facilities.



Moyens solaires: 12 fours solaires, 1 paraboloïde, 1 tour solaire, 1 microcentrale cylindro-parabolique *Solar facilities; 12 solar furnaces, 1 dish, 1 solar tower, 1small parabolic trough plant* 



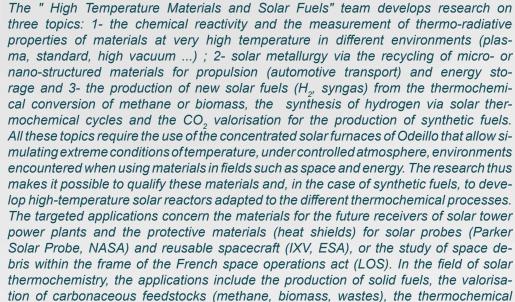
## Matériaux et conditions extrêmes

## **Materials and extreme conditions**

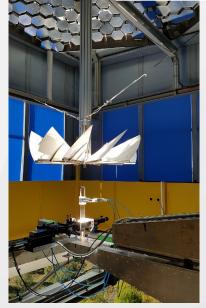
# **Equipe Matériaux Hautes Températures et Carburants Solaires (MHTCS)**



L'équipe " Matériaux Hautes Températures et Carburants Solaires " développe des recherches autour de trois thèmes : 1- la réactivité chimique et la mesure des propriétés thermo-radiatives de matériaux à très haute température sous différents environnements (plasma, standard, ultravide...); 2- la métallurgie solaire via le recyclage de matériaux micro- ou nano-structurés pour la propulsion (transport terrestre) et le stockage d'énergie et 3- la production de nouveaux carburants solaires (H<sub>a</sub>, syngas) par conversion thermochimique de méthane ou de biomasse, la synthèse d'hydrogène par cycles thermochimiques de dissociation de l'eau et la valorisation du CO<sub>2</sub> en vecteurs d'énergie. L'ensemble de ces thématiques utilise les fours solaires à concentration d'Odeillo qui permettent de simuler des conditions extrêmes de température, sous atmosphère contrôlée, environnements rencontrés lors de l'utilisation de certains matériaux dans des domaines tels que l'espace et l'énergie. Les recherches permettent ainsi de qualifier ces matériaux et dans le cas des combustibles de synthèse, de développer des réacteurs solaires à haute température adaptés aux différents procédés thermochimiques étudiés. Les applications visées concernent les matériaux des futurs récepteurs de centrales solaires à tour et les matériaux de protection (boucliers thermiques) de sondes solaires (Parker Solar Probe, NASA) et de véhicules spatiaux réutilisables (IXV, ESA) ou encore l'étude des débris spatiaux dans le cadre de la LOS (Loi française sur les Opérations Spatiales). Dans le domaine de la thermochimie solaire, les applications sont la production de carburants solides, la valorisation de ressources carbonées (méthane, biomasse, déchets), le stockage thermochimique à haute température, et la conversion de l'eau et du CO2 en carburants solaires (H2 et gaz de synthèse), précurseurs essentiels pour la synthèse de différents combustibles dérivés.



energy storage and the conversion of water and CO<sub>2</sub> into solar fuels (H<sub>2</sub> and syngas), as key precursors for the synthesis of various derived fuels.





Réacteur plasma MESOX au foyer du four solaire de 6 kW et photographie du plasma d'air

MESOX plasma reactor at the focus of the 6kW solar furnace and photography of the air plasma



Particules de magnésium obtenues par carboréduction d'oxydes métalliques par voie solaire concentrée

Mg particles obtained by carboreduction of metallic oxides using concentrated solar energy





Réacteurs solaires pour la production de carburants de synthèse par valorisation de ressources carbonées, et dissociation de l'eau et du CO<sub>2</sub>

Solar reactors for synthetic fuel production from valorisation of carbonaceous feedstocks, and splitting of water and CO<sub>2</sub>

## Matériaux et conditions extrêmes

## **Materials and extreme conditions**

### **Equipe Photovoltaïque, Plasmas, Couches Minces (PPCM)**

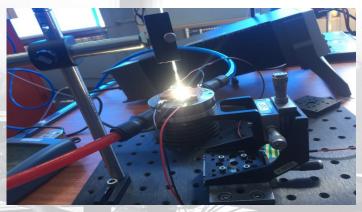
### Photovoltaïcs, Plasmas, Thin Films Team

L'équipe "Photovoltaïque, Plasmas, Couches Minces" travaille au développement de nouveaux matériaux de surface destinés à la conversion de l'énergie solaire, à la fois pour le photovoltaïque et le solaire thermique sous concentration. Ses objectifs scientifiques sont les suivants : (i) mettre en œuvre de nouveaux concepts de cellules solaires haut rendement, en couplant modélisation et expérimentation, (ii) concevoir, élaborer et caractériser des couches minces multifonctionnelles nanostructurées pour la conversion de l'énergie solaire, (iii) comprendre la production et le transport de nanoparticules en plasma basse pression et à la pression atmosphérique, (iv) développer de nouvelles solutions plasma pour l'industrie (Dépôt Chimique en Phase vapeur assisté par Plasma : PACVD, Dépôt Physique en phase vapeur : PVD).

The "Photovoltaic, Plasma, Thin Films" team works on the development of new surface materials for the conversion of solar energy, both for photovoltaics and concentrated solar thermal. Its scientific objectives are as follows: (i) to implement new high-efficiency solar cell concepts, combining modelling and experiments, (ii) to design, develop and characterize nanostructured multifunctional thin films for solar energy conversion, (iii) to understand the production and transport of nanoparticles in low-pressure plasmas and at atmospheric pressure, (iv) to develop new plasma solutions for industry (Plasma-Assisted Chemical Vapour Deposition: PACVD, Physical Vapour Deposition: PVD).

L'équipe s'intéresse à la conception optimale de cellules photovoltaïques destinées à la haute concentration solaire (systèmes HCPV et systèmes hybrides CPV/CSP) et à la caractérisation de ces cellules en conditions réelles. Elle élabore de nouveaux matériaux PV nanostructurés en couches minces à base de CIGS et CZTS par pulvérisation RF de nanopoudres compactées et développe des couches minces antireflet et à haute passivation (durée de vie des porteurs photo-générés de l'ordre de 1ms) pour cellules solaires au silicium cristallin par CVD plasma à la pression atmosphérique et basse pression. Elle a également validé de nouvelles multi-nanocouches optiquement sélectives à forte durabilité thermique pour récepteurs CSP bas coût par procédé hybride PACVD/PVD basse pression. Enfin, elle a démontré la faisabilité du dépôt de nanocomposites par couplage de plusieurs modes fréquentiels d'excitation de plasmas à barrière diélectrique à la pression atmosphérique (PACVD et PVD).

The team is interested in the optimal design of photovoltaic cells for high solar concentration (HCPV systems and CPV/CSP hybrid systems) and the characterization of these cells in real conditions. It develops new nanostructured thin-film PV materials based on CIGS and CZTS by RF sputtering of compacted nanopowders, as well as anti-reflective and highly passivating thin films (photo-generated carriers' lifetime in the order of 1ms) for c-Si PV by plasma CVD at atmospheric pressure and low pressure. It has also developed new optically selective multi-nanolayers with high thermal durability for low-cost CSP receivers using PACVD/PVD low-pressure hybrid processes. Finally, the team has demonstrated the feasibility of nanocomposite deposition using multifrequency management in Dielectric Barrier Discharge atmospheric plasmas (PACVD and PVD).



**200** nm

poudres (TiO<sub>2</sub>/CHx)

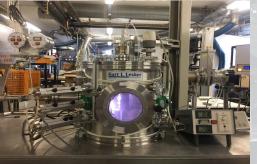
Caractérisation d'une cellule photovoltaïque multijonctions sous concentration du rayonnement solaire

(TiO<sub>2</sub>/CHx)

Revêtements plasma DBD : PACVD de mélange liquide/nano-

Atmospheric DBD plasma coatings: PACVD of liquid/nanopowder

Caracterisation of a multijunction photovoltaic cell under concentrated sunlight



Réacteur hybride PACVD/PVD pour le dépôt de revêtements sélectifs pour absorbeurs CSP

Hybrid PACVD/PVD reactor for deposition of selective coatings for CSP absorbers

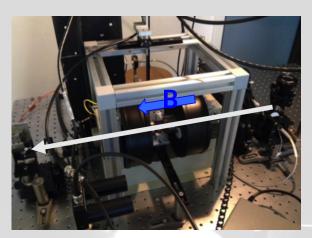
## Matériaux et conditions extrêmes

## **Materials and extreme conditions**

Equipe Systèmes et Structures Nanométriques : propriétés optiques, électroniques et magnétiques (S2N)



### Nanoscale systems and Structures: optical, electronic and magnetic properties team



Mesure de la rotation Faraday dans des nanostructures hybrides

Measurement of Faraday rotation in hybrid nanostructures

L'équipe "Systèmes et Structures Nanométriques : propriétés optiques, électroniques et magnétiques" étudie les processus élémentaires qui sous-tendent l'interaction de la lumière avec des nanostructures hybrides afin d'optimiser leurs propriétés optiques et magnéto-optiques en vue d'applications dans le domaine de la conversion de l'énergie. Le volet expérimental des recherches de l'équipe est consacré à l'étude de nanostructures par des mesures optiques et magnéto-optiques.

Les objectifs scientifiques de l'équipe sont les suivants : (i) Optimisation de l'absorption, de la conversion et du transfert de l'énergie électromagnétique, (ii) Etude microscopique des excitations plasmoniques et de leurs interactions avec les différentes excitations dans les nanostructures hybrides (métalliques et/ou magnétiques), (iii) Interaction des nanostructures plasmoniques avec des semi-conducteurs (cellules solaires par exemple).

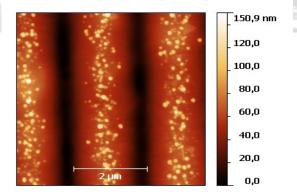
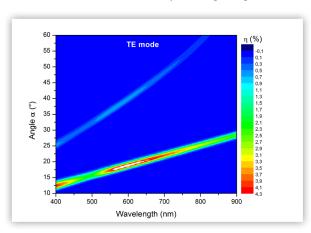


Illustration de l'effet plasmonique dans les réseaux de nanoparticules d'or

Plasmonic effect in Gold nanoparticle gratings



influence de la sélectivité spectrale et d'orientation sur l'efficacité de diffraction

influence of the spectral & orientation selectivity on the diffraction efficiency

The «Nanoscale Systems and Structures: Optical, Electronic and Magnetic Properties» team investigates the fundamental processes underlying the interaction of light with hybrid nanostructures in order to optimize their optical and magneto-optical properties for applications in the field of energy conversion. The experimental part of the team's research is devoted to the study of nanostructures by optical and magneto-optical techniques.

The team's scientific objectives are as follows: (i) Optimization of electromagnetic energy absorption, conversion & transfer, (ii) Microscopic study of plasmons and their interactions with other excitations in hybrid nanostructures (metallic and/or magnetic), (iii) Interaction of plasmonic nanostructures with semiconductors (e.g. solar cells).



Détail d'un interféromètre de Mach-Zehnder pour la synthèse de réseaux plasmoniques nanostructurés

Detail of a Mach-Zehnder interferometer for plasmonic gratings synthesis.

## Conversion, stockage et transport de l'énergie

## Transformation, storage and transport of energy

# **Equipe Thermophysique, Rayonnement et Ecoulement pour les Centrales Solaires (TRECS)**



### Thermophysics, Radiation and Fluid Dynamics for Solar Facilities team



Photo d'un tube récepteur au foyer du Grand Four Solaire d'Odeillo dans lequel circule des particules de SiC fluidisées (projets européens CSP2 et Next-CSP)

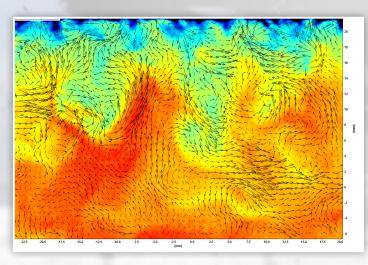
Picture of a solar receiver tube at the focus of the 1MW-CNRS solar furnace at Odeillo in which fluidized SiC particles are flowing (CSP2 and Next-CSP European projects)

Test d'un prototype de récepteur solaire céramique au four solaire de 1000 kW

Test of a prototype ceramic solar receiver at the 1000 kW solar furnace

Les objectifs de l'équipe se focalisent sur le développement de récepteurs solaires à haut rendement fonctionnant sous haut flux et à haute température (HT): récepteurs à air et à suspension de particules dans des tubes. Nous améliorons les procédés de conversion de l'énergie solaire avec des composants et des architectures innovantes. En particulier, nous étudions l'intensification des transferts pour la conversion du rayonnement solaire en chaleur (tout en limitant les pertes thermiques et les pertes de charge). Les sujets scientifiques principaux sont : l'influence des transferts radiatifs dans les récepteurs solaires HT; le vieillissement de composants et de matériaux pour les récepteurs HT ; les nouveaux fluides caloporteurs et la thermochimie solaire. Des moyens expérimentaux spécifiques sont utilisés : une soufflerie équipée d'un dispositif de vélocimétrie par imagerie stéréoscopique de particules (SPIV) : le grand four solaire d'Odeillo (1 MW) et la centrale à tour Thémis (5 MW). Les résultats marquants sont le développement de deux types de récepteurs solaires HT. Le premier utilise un nouveau fluide caloporteur HT servant aussi de matériau de stockage thermique ; preuve du concept réalisé au grand four solaire (projet FP7 CSP2) et pilote industriel en phase de réalisation à Thémis (projet H2020 Next-CSP). Le second type correspond aux récepteurs solaires HT à air ; soit surfaciques en métal ou en céramique, développés du brevet au prototype (partenariat industriel) soit volumiques (projet ANR).

The team objectives address the development of high flux, high temperature (HT) and high efficiency solar receivers: air receiver and particle-in-tube receiver. We improve solar energy conversion processes with innovating components and architectures. Specifically, we study transfer intensification for the conversion of the solar radiation into heat (while limiting thermal losses and pressure drops). The main scientific topics are: influence of radiative heat transfers in HT solar receivers; aging of components and materials for HT receivers; new heat transfer fluids and solar thermochemistry. Dedicated experimental facilities are used: a wind tunnel equipped with a stereoscopic particle image velocimetry (SPIV) device; the big solar furnace of Odeillo (1 MW) and the Themis solar tower facility (5 MW). Key results are the development of two kinds of HT solar receivers. The first kind uses a new high temperature heat transfer and storage fluid; proof of concept demonstrated at the 1 MW solar furnace (FP7 CSP2 project) and industrial pilot in progress at Themis (H2020 Next-CSP project). The second type corresponds to HT air solar receivers: either surface receivers with metal or ceramic developed from the patent to the pilot (with industry), or volumetric receivers (ANR project).



Champ de vitesses instantanées dans une coupe du canal plan chauffé asymétriquement à la soufflerie MEETIC

Instantaneous velocity field in a differentially heated plane channel at the MEETIC wind tunnel

## Conversion, stockage et transport de l'énergie -Transformation, storage and transport of energy

### Equipe Stockage pour Hélioprocédés Photochimique et Energétique (SHPE)

### Storage for Photochemical and Energetic Helioprocesses team



Module de stockage thermique (5x5 cm) élaboré à partir de déchets industriels minéraux.

Thermal energy storage module (5x5 cm) made of inorganic industrial wastes.



Céramique issue du recyclage de déchets industriels contenant 30% SiC - 70% Mullite.

Recycled ceramic containing 30% SiC - 70% Mullite elaborated from industrial wastes.

L'ensemble eau-énergie-déchets abordé dans le contexte d'une utilisation directe de l'énergie solaire conduit naturellement à la notion d'écotechnologies solaires qui définit le cadre de la démarche adoptée au sein de l'équipe "Stockage pour hélioprocédés photochimiques et énergétiques". Deux thématiques sont tout particulièrement étudiées. La première relève de l'élaboration à partir de déchets inorganiques de céramiques pour le stockage d'énergie à haute température. Ces nouveaux matériaux sont caractérisés, étudiés en termes de compatibilité avec divers fluides de transfert et testés à l'échelle pilote. Cette approche a permis d'obtenir des avancées significatives concrétisées notamment par la création de la Startup EcoTechCeram (ETC). La seconde thématique qui s'inscrit dans la filière du traitement de l'eau du futur est l'oxydation avancée par voie solaire. Ces procédés (catalyse hétérogène, photo-fenton) sont évalués en conditions d'irradiation réelle sur des effluents contenant des agents pathogènes et/ou des micropolluants organiques. L'intérêt d'une hybridation avec les traitements biologiques ou la séparation par adsorption est exploré. Les développements ont notamment conduit à la mise en place par un partenaire industriel d'une installation assurant une production d'eau potable à partir d'une nappe phréatique polluée par des composés organiques volatiles.

The water-energy-waste package addressed in the context of a direct use of solar energy naturally leads to the solar eco-technologies concept that defines the framework of the approach adopted within the "Storage for Photochemical and Energetic Helioprocesses" team. Two topics are particularly studied. The first topic relates to the elaboration of inorganic waste ceramics dedicated to high temperature energy storage. These new materials are studied in terms of compatibility with various heat transfer fluids and are tested at a pilot scale. This approach resulted in significant advances, including the creation of the EcoTechCeram (ETC) startup company. The second topic, part of the water treatment of the future, deals with advanced solar oxidation. These processes (heterogeneous catalysis, photo-fenton) are evaluated under real irradiation conditions in case of effluents containing pathogens and/or organic micro-pollutants. The interest of a coupling with biological treatments or separation by adsorption is explored. The developments led in particular to the implementation by an industrial partner of a plant for the production of drinking water from a groundwater polluted by volatile organic compounds.





Installations extérieures pour essais d'oxydation avancée par voie solaire Outdoor setups for solar advanced oxidation experiments

## Conversion, stockage et transport de l'énergie

## Transformation, storage and transport of energy

### **Equipe Thermodynamique, Energétique et Systèmes réactifs (TES)**

### Thermodynamics, Energetics and Reactive systems team

Les activités de recherche de l'équipe "Thermodynamique, Energétique et Systèmes réactifs" portent sur le développement de procédés thermochimiques et thermo-hydrauliques. Ces procédés à finalité énergétique permettent, à partir d'une source thermique (en particulier d'origine solaire), la production de travail convertible en électricité, la production et le stockage de froid ou de chaleur dans une large gamme de températures (-30°C à 600°C). L'approche scientifique est centrée sur :

- la modélisation à plusieurs niveaux d'échelle de systèmes hors équilibres et instationnaires qui couplent différents composants échangeant masse, chaleur et travail,
- la maîtrise des limitations par transfert de ces extensités dans des procédés thermochimiques par des configurations adaptées de composants ou la mise en œuvre performante de milieu réactif,
- la conception de procédés énergétiques, basée sur des associations pertinentes de composants et prenant en compte les contraintes thermodynamiques,
- l'optimisation de procédés ou de réseaux énergétiques sous contraintes de densité énergétique, puissance spécifique, critères environnementaux,... ainsi que leur analyse par le biais d'indicateurs pertinents de performances thermodynamiques ou économiques.

The research activities of the "Thermodynamics, Energetics and Reactive systems" team focus on the development of thermochemical and thermo-hydraulic processes. These thermal processes enable the production of work convertible into electricity, as well as the production and storage of cold or heat in a wide temperature range (-30 °C to 600 °C) from a thermal source (in particular from the sun). The scientific approach addresses:

- the modeling at different scales of non-equilibrium and unsteady systems that couple various components exchanging mass, heat and work,
- the control of the transfer limitations of these extensities in thermochemical processes through adapted configurations of components or the efficient use of reactive medium,
- the design of energy processes, based on the relevant associations of components and taking into account thermodynamic constraints,
- the optimization of energy processes and networks under constraints (energy density, specific power, environmental criteria ...), as well as their analysis by means of relevant thermodynamic or economic performance indicators.



Procédé thermochimique solaire autonome de production de froid pour la sécurité thermique de relai télécom en zone désertique

Autonomous solar airconditioning thermochemical unit for thermal safety of remote telecom base station in desert area (DAC-SOL)



Réacteur thermochimique pour le stockage inter-saisonnier de chaleur solaire

Thermochemical reactor for long term inter-seasonal solar heat storage



Trigénération par procédé thermo-hydraulique solaire. Application au secteur de l'habitat

Solar thermo-hydraulic process for trigeneration application in the residential sector (electricity, air-conditioning and heating)

## Conversion, stockage et transport de l'énergie -

## **Transformation, storage and transport of energy**

### Equipe Commande des Systèmes, Instrumentation et Caractérisation (COSMIC)



### System control, instrumentation, and characterization team

L'équipe "Commande des Systèmes, Instrumentation et Caractérisation", aux activités de recherche pluridisciplinaires, s'intéresse à différents domaines :

- □ l'instrumentation et l'automatisation des centrales solaires à concentration (activité initiée début 2013 par l'intermédiaire du projet européen CSPIMP). Nous avons développé un système de vision à grand angle de champ capable de générer des images du ciel à haute dynamique et des algorithmes pour la prévision infra-horaire de l'éclairement normal direct
- le développement de stratégies pour la gestion optimisée de la production décentralisée d'énergie électrique et de chaleur (réseaux de chaleur)
- l'équipe aborde également la caractérisation de composants et de matériaux avec, pour applications principales, le développement d'appareils de mesure innovants, l'optimisation de la structure de cellules solaires fonctionnant sous concentration et l'étude du vieillissement des récepteurs solaires (grâce à l'estimation de propriétés thermophysiques).

Les approches méthodologiques considérées sont plurielles : la modélisation et l'identification des systèmes, l'intelligence artificielle, le traitement du signal et de l'image et la commande prédictive.





The "System control, instrumentation, and characterization" research team develops multidisciplinary activities that address various topics:

- instrumentation and control of solar power plants (this activity was initiated in early 2013 thanks to the CSPIMP European research project). The team developed a sky imager able to provide high dynamic range images of the sky as well as algorithms for the infra-hour forecasting of direct normal irradiance.
- the development of strategies dedicated to the optimal management of distributed heat and power generation (heat and power networks).
- the activities also deal with characterizing components and materials. The key applications are related to the development of new measuring devices, the optimization of concentrating solar cells and the aging of solar receivers (by estimating thermophysical properties).

Various approaches are used, such as, system identification, artificial intelligence, signal and image processing and model-based predictive control









Le " sky imager " de PROMES installé sur le site de la centrale solaire de 50 MW Palma del Rio II (Espagne).

The PROMES "sky imager" installed at the 50 MW solar power plant in Palma del Rio II (Spain).



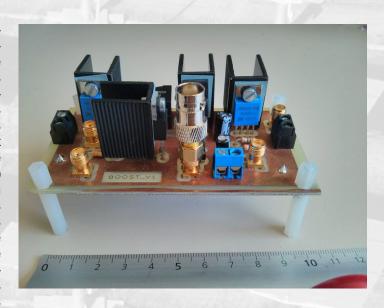
Le banc DFB pour la caractérisation de fibres optiques The DFB bench for characterizing optic fibers

## Conversion, stockage et transport de l'énergie -Transformation, storage and transport of energy

### Equipe Supervision, Énergie solaire, Systèmes Électriques (SENSE)

### Supervision, Solar Energy, Electric Systems team

L'activité scientifique de l'équipe " Supervision, Énergie solaire, Systèmes Électriques " est dédiée à l'étude, la caractérisation, la modélisation, la gestion et la supervision de systèmes électriques intégrant principalement des sources à énergies renouvelables. Les systèmes utilisant ou couplant les sources photovoltaïques (PV), photovoltaïques sous concentration (CPV) et solaires thermiques à d'autres sources sont le centre de nos études. L'équipe conçoit et développe des architectures de conversion de l'énergie électrique (hacheurs buck, boost, sepic, multiniveaux...) pour la réalisation de bus de tension continue à destination des systèmes de production d'énergie et des architectures (puissance, commande et superviseur spécifiques) pour les systèmes de charge/recharge de batteries. La commande de ces convertisseurs utilise le principe de la commande distribuée gérée par un superviseur. Par exemple, nous étudions et optimisons les échanges énergétiques au sein des smart-grids dans le cas de collaborations industrielles. Ces études intègrent la détection, l'identification et la localisation de défauts électriques des panneaux PV dans les installations de production, ainsi que la prédiction de la ressource par images satellite.



Convertisseur DC/DC de 30W pour cellule CPV 30W DC/DC converter for CPV cells

The scientific activity of the "Supervision, Solar Energy, Electric Systems" team is dedicated to the study, characterization, modeling, management and supervision of electric systems that mainly involve renewable energies sources. Systems that use or couple photovoltaic sources (PV), concentrator photovoltaics (CPV) and thermal solar with other sources, are the core of our studies. The team develops electric energy conversion architectures (buck choppers, boost, sepic, multilevels...) for direct tension bus for energy production systems and architectures for battery charging/discharging systems (specific power, command and supervision). The converter command uses the principle of the distributed command managed by a supervisor. The team also studies and optimizes energy self-consumption exchange inside smart-grids in the framework of collaborations with industry. These studies include the detection, localization and identification of electrical faults, as well resource prediction using satellite images.





Installation de 13,5MW incluant 60kW d'ombrières R&D, un véhicule électrique et 80kW de stockage (collaboration industrielle). Example of smart grid, 13.5 MW PV installation with 60kW R&D PV canopies, electrical vehicle and 80kW of storage (industrial collaboration).

### Plateforme de Caractérisation des Matériaux (PCM)

### **Material characterization platform**

Cette plateforme dédiée à la caractérisation physicochimique et thermique de matériaux dispose de différents équipements scientifiques performants. Elle bénéficie du savoir-faire, des compétences et de l'expérience de personnels techniques qualifiés (techniciens, ingénieurs). Cette plateforme est ouverte à la communauté scientifique

et aux clients du secteur privé. Elle est composée de 3 entités :

- Analyses de Surfaces et d'Interfaces : DRX, XPS-AES, Spectrométrie Raman, Granulométrie laser
- Propriétés Optiques et Thermiques : Spectrophotométrie NIR-IR et UV-Vis-NIR, CASI, Diffusivité thermique LFA
- Propriétés Mécaniques, Imagerie de Surfaces : Nanoindentation, AFM, tribométrie, profilométrie de contact





SOC 100 NIR-IR spectrophotomètre et DRX SOC 100 NIR-IR spectrophotometry and XRD

This platform dedicated to the physico-chemical and thermal characterization of materials has various scientific equipments. It benefits from the know-how, skills and experience of a qualified technical staff (technicians, engineers). This platform is open to the scientific community and to the private sector. It is composed of 3 entities:

- Surface and Interfaces Analysis: XRD, XPS-AES, Raman spectrometry, Laser granulometry
- Optical and Thermal Properties: NIR-IR and UV-Vis-NIR spectrophotometry, CASI, LFA thermal diffusivity
- Mechanical Properties, Surface Imaging: Nano-indentation, AFM, tribometry, contact profilometry

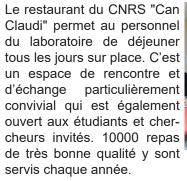
### L'exposition et le restaurant du site d'Odeillo

### The exhibition and restaurant at the Odeillo site





Heliodyssée est une exposition permanente installée dans les locaux d'Odeillo qui vise à présenter au public les activités de recherche du laboratoire. Elle accueille plus de 30 000 personnes chaque année, y compris des élèves du primaire et du secondaire.









Heliodyssée is a permanent exhibition housed in Odeillo's premises which aims at presenting the laboratory's research activities to the public. It welcomes more than 30,000 people each year, including elementary and high school students.

The CNRS "Can Claudi" restaurant allows the laboratory staff to have lunch every day on site. It is a particularly friendly meeting and exchange space that is also open to students and guest researchers. 10,000 high-quality meals are served every year

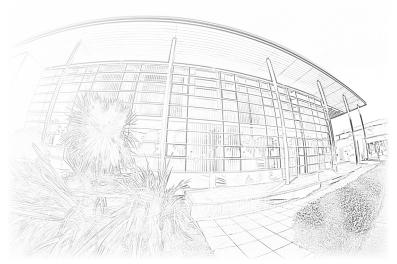


## cces To Perpignan

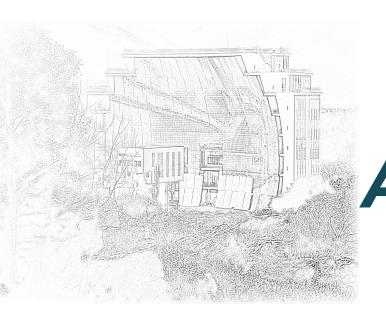
By plane: from Paris, airport "Orly" to "Perpignan/Rive-saltes"

By train: from Paris station "gare de Lyon" to station "Perpignan"

By road: motorway A9 - Exit: Perpignan sud





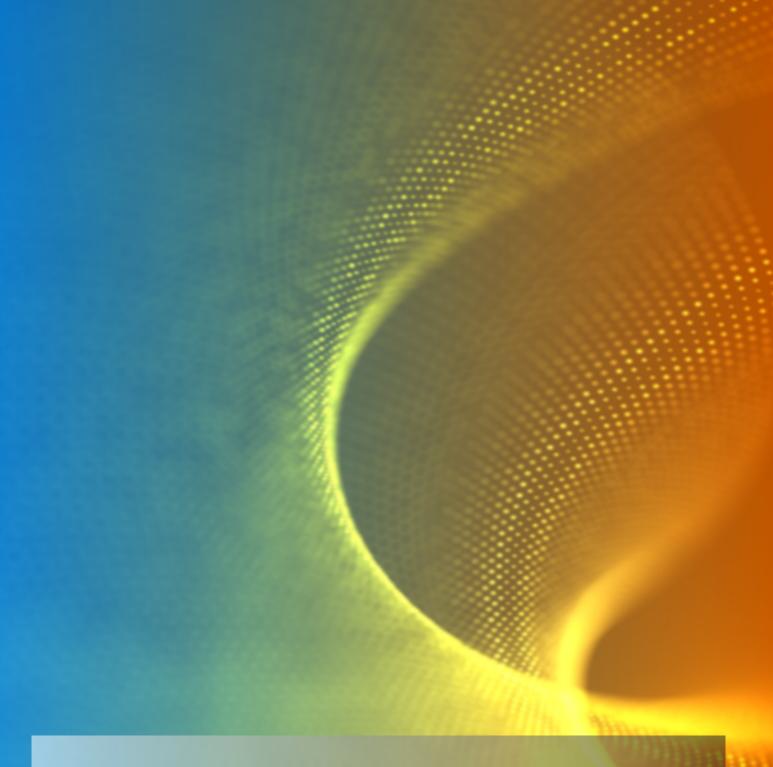


### cces To Odeillo/Font-Romeu

By plane: Airports, Perpignan (100 km) or Toulouse (180 km) or Barcelona (180 km)

By train: Paris station "Austerlitz" to station "Latour de Carol"

By road: from Perpignan RN 116 to Andorra; from Toulouse Motorway A61, then A66 to Foix and RN 20 to Font-Romeu; from Barcelona to Manresa, tunel del Cadi and Puigcerda.



PROMES-CNRS

Directrice : Françoise Bataille
Directeurs adjoints : Françoise Massines, Ludovic Charpentier,
Emmanuel Guillot et Laurent Thomas
7 rue du four solaire, Odeillo - 66120 FONT-ROMEU, France
Tél : 33 (0) 468 307 700

Rambla de la thermodynamique, Tecnosud - 66100 PERPIGNAN Tél : 33 (0) 468 682 222 www.promes.cnrs.fr

