

## AXE DE RECHERCHE 1

# Solaire & Energies renouvelables

### Mots-clés

matériaux, procédés solaires, centrales solaires, mix énergétique, économie circulaire, territoire et acteurs, environnements...

### Objectifs

Cet axe regroupe les activités des laboratoires ayant des activités liées à l'énergie solaire et plus généralement au développement des Energies Renouvelables (EnR). Sur le thème interdisciplinaire du déploiement de ces technologies, ils apportent leurs compétences aussi bien en sciences expérimentales et exactes, que dans les domaines de l'écologie et du développement social et économique des territoires où elles sont implantées.

Bien que tourné vers toutes les sources d'énergie (EnR et leur mix), cet axe s'appuie particulièrement sur des actions de recherche menées sur l'énergie solaire du fait de la présence et de la mise en œuvre d'installations solaires de niveau international sur le site, tels que le Grand Four Solaire d'Odeillo et la Centrale Solaire pilote THEMIS à Targassonne.

Les travaux de recherche s'intéressent aux moyens scientifiques et techniques qu'elles nécessitent pour leur déploiement aux niveaux local, national et international :

- procédés et systèmes de conversion de l'énergie [plus particulièrement solaire],
- intégration, dynamique et contrôle des systèmes énergétiques [réseaux et systèmes intelligents], stockage de l'énergie,
- matériaux à propriétés contrôlées et durables

Les recherches menées sur ces technologies sont directement et nécessairement liées aux impacts que les EnR peuvent présenter tant :

- au niveau environnemental (impact écologique sur les ressources biotiques, abiotiques),
- que socio-économique (Organisation spatiale et développement socio-économique des territoires, politiques de développements, législations, marchés de l'énergie, éco-usages, acceptabilité, tourisme industriel et écologique),
- que du point de vue de leur représentation et de la perception sensorielle qu'on peut avoir des changements en cours, et de celui de la trajectoire des sociétés humaines en quête d'énergie pour leur développement depuis les âges reculés (apprendre du passé pour mieux appréhender le futur).

*Cet axe est décliné en 5 sous-axes complémentaires entre les aspects*

- *de sciences physiques visant au déploiement de ces technologies,*
- *de socio-économie et développement territorial*
- *de relations entre les humanités et leurs milieux futurs.*

***Sous-axe 1 : Procédés solaires et matériaux associés***

***Sous-axe 2 : Centrales solaires du futur et mix énergétique***

***Sous-axe 3 : Interconnexions (nexus) Energie-Eau-Ressources agricoles***

***Sous-axe 4 : EnR et Economie Circulaire pour le développement des territoires***

***Sous-axe 5 : Energie et humanités, représentation/perception critique des mondes de l'énergie***

### **Sous-axe 1 : Procédés solaires et matériaux associés**

On ne développe pas les EnR sans développer de matériaux innovants, sans les intégrer, du fait de leurs propriétés fonctionnelles, dans des procédés et systèmes de conversion et de stockage d'énergies, de production et distribution d'énergie utile. Ainsi l'UPVD dispose de compétences reconnues aussi bien en génie des procédés (du procédé unitaire au dispositif intégré, jusqu'au pilote grande échelle) qu'en élaborations et caractérisations de matériaux variés à propriétés contrôlées (de nanomatériaux en couches minces pour applications énergétiques variées aux matériaux massifs pour le stockage de chaleur). Les activités sont plus spécifiquement centrées sur l'énergie solaire (solaire thermique haute et basse température, photovoltaïque). Ainsi, on retrouve des activités liées au développement, de matériaux recyclés issus de mines urbaines ou industrielles pour une réutilisation durable, de matériaux pour les applications spatiales ou en conditions extrêmes, de couches minces nano- ou micro-structurées élaborées par voies originales solaire ou plasma, de matériaux pour la dépollution des effluents. Ces études font appel à de nombreux moyens de caractérisations physico-chimiques et fonctionnelles (comportement mécaniques, thermiques et optiques en conditions extrêmes, vieillissement). Les approches expérimentales sont couplées à des approches théoriques et numériques adaptées aux différentes échelles étudiées, de la chimie théorique du nano-objet aux modèles phénoménologiques décrivant le matériau intégré dans un dispositif expérimental complet (prédiction, optimisation). La valorisation du rayonnement solaire peut être envisagée par une utilisation directe de l'énergie contenue dans les photons, ou via une conversion intermédiaire, par exemple en chaleur, de cette énergie. Ainsi on vise en outre à produire des carburants comme l'hydrogène par des réactions initiées à hautes températures par concentration du rayonnement solaire, à assurer la photo-activation solaire d'un catalyseur pour une amélioration du niveau sanitaire des effluents avant leur rejet dans l'environnement ou une réutilisation, à développer des moyens de stockage thermique ou de conversion adaptés à une large gamme de températures et des cycles thermodynamiques hybrides pour une gestion optimisée de la ressource solaire.

### **Sous-axe 2 : Centrales solaires du futur et mix énergétique**

Le développement des centrales solaires de prochaine génération nécessite des activités de recherche pluridisciplinaires, à différentes échelles. Nos activités couplent des approches numériques et la mise en œuvre d'expérimentations sous flux solaire pour optimiser et piloter les différents composants de ces futures centrales. L'hybridation des différentes sources d'énergies accessibles est aujourd'hui clé pour le déploiement des EnR. A l'échelle du réseau, nous nous intéressons principalement à la gestion intelligente de la production et à la distribution de l'énergie avec pour objectif la stabilité du réseau de distribution électrique, potentiellement perturbé par l'ajout d'énergies renouvelables intermittentes. Une action est menée sur le développement de moyens tels que l'électronique de puissance pour assurer une interconnexion efficace entre flux d'énergie d'origine solaire et réseaux électriques. A

l'échelle plus locale maintenant l'hybridation vise au développement de micro-réseaux multi-sources/multi-usages (éco-quartiers, territoires intercommunaux) et aux interconnexions entre réseaux de chaleur-électricité-gaz, de l'habitat à l'industrie. A l'échelle système, nous concevons et dimensionnons des procédés de conversion de l'énergie solaire concentrée. Nous instrumentons et développons des algorithmes de pilotage des centrales solaires photovoltaïques et thermodynamiques. A l'échelle du récepteur, nous nous concentrons sur la conception et l'optimisation de récepteurs solaires de forte puissance et à haute température qui constitue un verrou majeur dans le développement des nouvelles centrales à haut rendement. Il nécessite notamment l'intensification des transferts, la caractérisation de l'évolution des matériaux sous contrainte solaire et de la physique des changements d'échelle dans les écoulements au sein des récepteurs. Aux échelles plus locales, on cherche à mieux comprendre et à modéliser les couplages entre la thermique, la dynamique et le caractère diphasique des écoulements. Toutes ces échelles font appel à des moyens de calcul intensifs ; les outils de l'intelligence artificielle y sont aussi utilisés à des fins de modélisation, de prévision et d'optimisation.

### **Sous-axe 3 : Interconnexions (nexus) Energie-Eau-Ressources agricoles**

Le sud de la France, plus généralement le pourtour méditerranéen, est déjà et sera de plus en plus impactée par les déficits en eau du fait du dérèglement climatique. L'étude des interconnexions entre Energie, Eau et Alimentation est ici un enjeu majeur, dans une zone géographique à caractères viticole, maraîcher, d'élevage, et touristique. Ainsi, il faut de l'eau pour produire de l'énergie hydroélectrique, il faut de l'énergie pour pomper l'eau et la distribuer. De même, les produits agricoles peuvent produire de l'énergie (valorisation de la biomasse), mais l'agriculture est gourmande en énergie, d'où l'insertion nécessaire des EnR dans ce secteur (sites isolés par exemple). L'eau est évidemment nécessaire pour l'activité agricole qui nous nourrit, mais celle-ci, au même titre que l'industrie et le milieu urbain, pollue les ressources en eau. Finalement, dans la plaine du Roussillon, l'eau de mer interfère avec les nappes phréatiques. Les questions de production et d'accès à l'Energie à l'Eau et à l'Agriculture ne peuvent donc être considérées indépendamment lorsque l'on examine ces différents conflits. A ces titres, les aspects suivants sont à investiguer :

- Utilisation de technologies innovantes typées EnR (solaires) pour la dépollution/désinfection des eaux usées [«re-use» : potabilisation/irrigation en sortie de stations d'épuration], et la remédiation des écosystèmes lagunaires [milieu naturel, élevage conchylicole/pêche],
- Développement de technologies solaires hybrides pour le dessalement d'eau de mer [accès à l'eau des zones désertiques et à risque face aux dérèglements climatiques en cours],
- Ressources halieutiques marines et développement de l'Eolien Marin (exemple du golfe du Lion),
- Problématique de l'usage des espaces et de l'aménagement des territoires : emprise au sol des centrales de production EnR, concurrence et/ou compatibilité avec les activités d'élevage, d'agriculture, et touristiques,
- «Agri-EnR» pour un développement durable du secteur agricole [ex : toitures PV ou éolienne privées (revenus EnR), centrales PV pilotées sur vignes et cultures maraichères (pilotage intelligent de l'outil agricole), centrales de production de chaleur directe (serres en plaine, étables/bergeries chauffées de moyenne altitude) via

l'utilisation et la valorisation des ressources locales à disposition (associations solaire/biomasse/géothermie/hydroélectricité)].

#### **Sous-axe 4 : EnR et Economie Circulaire pour le développement des territoires**

Nos modes de consommation modernes sont basés sur l'abondance théorique de sources d'énergie qui ne sont pas renouvelables. L'épuisement des ressources naturelles nous contraint aujourd'hui à changer nos habitudes de consommation, notamment en luttant contre la surconsommation et la surexploitation de ces ressources. Ce changement doit cependant intervenir par étapes, en modifiant nos modes de production énergétique, dans un souci de développement durable, développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. La durabilité nécessite de réfléchir aux manières de concilier satisfaction des besoins, développement d'activités et consommation sans pour autant affecter les ressources disponibles sur la planète. En effet, nos modes de vie et de production ont un impact négatif sur l'environnement et ces préoccupations environnementales sont au centre de nos développements. Une solution pour limiter ces impacts négatifs est d'avoir en particulier recours aux énergies renouvelables, mais elles doivent être respectueuses de l'environnement. La transition énergétique doit s'opérer en même temps que notre transition écologique, et économique, en adaptant notre consommation aux ressources disponibles. On vise donc à la fois à renforcer la protection du milieu naturel et à favoriser le maintien des activités économiques, dans un objectif de développement durable. L'approche mono-disciplinaire majoritairement employée jusqu'à présent est donc insuffisante pour appréhender la complexité du système. Les aspects suivants doivent être pris en compte : i) Valorisation de déchets et économie circulaire : développement de technologies et de nouveaux circuits économiques de transformation à partir de mines agricoles, urbaines et industrielles, développement de nouvelles filières industrielles et de nouveaux bassins d'emploi (ex : méthanisation/ méthanation/pyrogazéification biomasse et sorties de STEP, nouveaux matériaux pour l'énergie à partir de déchets industriels [Stockage de chaleur, Batteries]) avec intégration systématique de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) en amont pour la production de dispositifs et réseaux intégrant en particulier les EnR. ii) Etudes d'impact des EnR dans l'environnement dans une démarche intégrée (acceptabilité/solutions): questionnaires et échantillonnage/collecte des données sur le terrain/analyse d'impact/Recommandations.

L'approche pluridisciplinaire (technologique et socio-économique) est donc évidemment nécessaire pour le déploiement des EnR. Les études développées par les laboratoires de l'UPVD visent (i) à identifier les besoins technologiques pour les nouveaux marchés de l'énergie, (ii) à évaluer la capacité d'un territoire à intégrer les technologies EnR, (iii) à participer à la formation/information des acteurs locaux (sensibilisation), (iv) à étudier les (nouveaux) usages énergétiques, (v) à identifier et évaluer les répercussions sur le développement socio-économique local et l'environnement immédiat (cartographie évolutive), (vi) à prédire les capacités d'évolution à plus long terme modèle socioéconomique, (vii) et à évaluer la répliquabilité du modèle à d'autres territoires. Une telle approche fait appel à des partenariats entre acteurs académiques, milieux associatifs et participatifs, acteurs économiques et gouvernances locales. Pour ces territoires, la conception et le développement

amont de pilotes puis de démonstrateurs expérimentés sur site est d'une importance cruciale dans une optique d'acceptation des EnR à grande échelle, permettant l'adaptation aux usages énergétiques émergents et contribuant à un renouveau économique et social. L'intégration se mesure alors par la création d'emplois et de revenus qui contribuent à l'amélioration des conditions de vie des populations et qui favorisent leur accès à la santé, à l'éducation, à la culture et aux loisirs. Elle implique de fait l'évolution des politiques publiques et de la gouvernance des territoires. Le développement territorial durable se lit donc à travers un processus de transformation socio-technique qui dépend de la manière dont il a été pensé et dont il est appliqué par les acteurs politiques et socioéconomiques. Étudier la durabilité du développement territorial au prisme de la transformation socio-technique suppose de prendre en compte quatre dimensions principales du changement socio-spatial:

- La diffusion spatiale des innovations qui modifie l'organisation des territoires,
- Les stratégies d'adaptation et les changements de pratiques socio-économiques qui affectent les systèmes de production et de consommation des ressources,
- Les formes de coordination de l'action collective qui interrogent les systèmes de gouvernance territoriale et qui renvoient aux politiques publiques,
- Les droits public et privé liés à l'accessibilité aux EnR, leur installation physique, leur déploiement.

### **Sous-axe 5 : Energie et humanités, représentation/perception critique des mondes de l'énergie**

La représentation de l'énergie dans les arts et la littérature va dans le sens des travaux sur celle de l'indistinct, ce qui produit de l'effet sans être perçu par les sens : saisie sur un plan symbolique, la question de l'énergie, de la force invisible à l'œil nu est présente en littérature (La Peau de chagrin), en peinture (Munch), au cinéma (2001 Odysée de l'espace)... L'art est à même de nous permettre de détacher cette faculté d'agir de la faculté de percevoir et de défamiliariser le monde, donc de nous révéler ce qui a été précédemment inaperçu, de révéler aussi de nouveaux rapports entre les phénomènes. Par voie de conséquence, le texte, attirant notre attention sur l'énergie, peut également jouer un rôle éthique, voire politique : penser le rapport entre le phénomène (la lumière) et sa conséquence (l'électricité) n'est pas seulement l'apanage des scientifiques, mais réclame aussi une approche philosophique et herméneutique : l'idée d'une unité de la matière nous vient de loin, de Lucrèce dans l'Antiquité à Geoffroy Saint-Hilaire au XIXe siècle. En jetant un regard sur cette relation entre les éléments, les arts de représentation peuvent changer notre vision du monde : « Si les portes de la perception étaient nettoyées, toute chose apparaîtrait à l'homme telle qu'elle est, infinie. » (William Blake). De ce point de vue, la question de la représentation textuelle au sens large, littéraire, cinématographique ou photographique, est une entrée pour penser à la fois la conception du milieu et le détournement ou l'illusion qui président parfois à cette représentation.

La perception de l'énergie est intimement liée à aux phénomènes d'échange et de mobilité qu'on ne saurait penser sérieusement sans en passer par elle. La question de l'épuisement des ressources trouve sa place dans cette traduction : un sujet capable de penser la déperdition peut et doit également l'éprouver au sens le plus concret à travers des fictions et des images. Et la manière dont la source de l'énergie renouvelable est conçue par les sociétés humaines, comme entité cosmique ou comme outils pratiques en tenant compte des rapport de respect,

d'attachement, ou de piété qui y sont attachés, conditionne aussi ce qu'énergie veut dire quand on la lie aux entités « renouvelables ». Ce que représente la lumière, sur le plan poétique aussi bien que spectrométrique, pictural aussi bien que sociétal, voilà des affinités nouvelles pour penser ces rapports inédits que l'usage d'une énergie nouvelle produira.