

## Évaluation de la recherche

# RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'UNITÉ PROMES - Procédés matériaux et énergie solaire SOUS TUTELLE DES ÉTABLISSEMENTS ET ORGANISMES : Centre national de la recherche scientifique - CNRS

---

**CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2025-2026  
VAGUE A**

Rapport publié le 17/02/2026

Au nom du comité d'experts :

Jack Legrand, président du comité

Pour le Hcéres :

Coralie Chevallier, présidente du Hcéres

En application des articles R. 114-15 et R. 114-10 8° du code de la recherche, les rapports d'évaluation établis par les comités d'experts sont signés par les présidents de ces comités et contresignés par la présidente du Hcéres.

Pour faciliter la lecture du document, les noms employés dans ce rapport pour désigner des fonctions, des métiers ou des responsabilités (expert, chercheur, enseignant-chercheur, professeur, maître de conférences, ingénieur, technicien, directeur, doctorant, etc.) le sont au sens générique et ont une valeur neutre.

Ce rapport est le résultat de l'évaluation du comité d'experts dont la composition est précisée ci-dessous. Les appréciations qu'il contient sont l'expression de la délibération indépendante et collégiale de ce comité. Les données chiffrées de ce rapport sont les données certifiées exactes extraites des fichiers déposés par la tutelle au nom de l'unité.

**Cette version du rapport est publique dans les conditions de l'article R. 114-23 du code de la recherche. Des parties considérées comme confidentielles ainsi que les réponses aux points d'attention des tutelles ne figurent pas dans cette version du rapport.**

## MEMBRES DU COMITÉ D'EXPERTS

### **Président :**

M. Jack Legrand, Nantes Université

M. Pierre Florian, Centre national de la recherche scientifique, Orléans

M. José Gonzalez Aguilar, IMDEA Energy Institute, Madrid

M. Frédéric Lefevre, INSA Lyon (représentant du CoNRS)

### **Experts :**

M. Pere Roca Cabarrocas, Centre national de la recherche scientifique, Paris

M. Didier Saury, École nationale supérieure de mécanique et d'aérotechnique, Chasseneuil-du-Poitou (représentant du CNU)

M. Christian Schaeffer, Grenoble INP

## CONSEILLER SCIENTIFIQUE DU HCÉRES

M. Paul-Antoine Santoni

## REPRÉSENTANTS DES ÉTABLISSEMENTS ET ORGANISMES TUTELLES DE L'UNITÉ DE RECHERCHE

M. Fabien Godefert, Directeur adjoint scientifique, Centre national de la recherche scientifique

Mme Samira El Yacoubi, Vice-présidente recherche, université de Perpignan Via Domitia

# CARACTÉRISATION DE L'UNITÉ

- Nom : Procédés matériaux et énergie solaire
- Acronyme : PROMES
- Label et numéro : UPR 8521
- Nombre de thèmes : 3
- Composition de l'équipe de direction : Mme Françoise Massines (directrice) / M. Ludovic Charpentier, M. Emmanuel Guillot, M. Laurent Thomas (directeurs adjoints)

## PANELS SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

ST Sciences et technologies  
ST5 Sciences pour l'ingénieur

## THÉMATIQUES DE L'UNITÉ

PROMES développe des recherches sur l'énergie solaire et sa valorisation comme source d'énergie et de hautes températures. Depuis 2021, l'unité est structurée en trois thématiques scientifiques.

La thématique Centrales Solaires de Prochaine Génération (CSPG) mène des activités de recherche pluridisciplinaires sur les technologies solaires à concentration. Des approches expérimentales sont développées ainsi que des méthodes numériques alliant des modèles sur les phénomènes de transfert et l'intelligence artificielle, pour optimiser et piloter les différents composants des systèmes solaires à concentration. Les travaux ont évolué de la production d'électricité (CSP : Concentrated Solar Power) vers la production de chaleur à haute température pour une utilisation directe dans des procédés industriels (CST : Concentrated Solar Thermal). La thématique s'organise autour de quatre principales actions : les récepteurs solaires ; le système « centrale solaire » ; la gestion et l'intégration de la production photovoltaïque au réseau ; l'intelligence artificielle appliquée au solaire.

La thématique Stockage et Chimie Solaire (SCS) est centrée sur les écotechnologies solaires dans le domaine de l'environnement et de l'énergie. Les activités de recherche concernent : la production solaire de carburants de synthèse ; la métallurgie à haute température ; le stockage thermique et les cycles thermo-chimiques hybrides pour le déploiement des énergies renouvelables ; la photochimie et la valorisation basse température de l'énergie solaire pour le traitement de l'eau ; les systèmes de conversion de flux d'énergies d'origine solaire pour une intégration au réseau électrique.

La thématique Matériaux pour l'Énergie et l'Espace (MEE) étudie les propriétés optiques, thermoradiatives, électroniques et mécaniques de la matière condensée afin de l'utiliser pour faire de la conversion ou du transport d'énergie ou pour des applications spatiales. La thématique s'organise autour de cinq principales actions : les (Nano-)Matériaux intégrés et leur durabilité ; les comportements mécaniques, thermiques et optiques des matériaux en conditions extrêmes grâce aux installations du four solaire d'Odeillo ; les méthodes de synthèse de matériaux à propriétés contrôlées ; les phénomènes de transport et de conversion d'énergie ; la conception et les propriétés émergentes des nouveaux matériaux.

## HISTORIQUE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE L'UNITÉ

PROMES est une Unité Propre de Recherche du CNRS (UPR 8521), conventionnée avec l'Université de Perpignan Via Domitia (UPVD). Elle est rattachée à CNRS Ingénierie et ses activités relèvent majoritairement de la section 12 du CoNRS.

Historiquement, l'unité résulte de la fusion du Laboratoire des Ultra-Réfractaires (LUR) et du Laboratoire de l'Énergie Solaire (LES) créé en 1950 par Félix Trombe sur le site de Mont-Louis. Le cœur historique de l'unité PROMES se situe ainsi à Odeillo (Centre du Four Solaire Félix Trombe) depuis 1969, date de mise en service du Grand Four Solaire. Avant d'adopter l'acronyme PROMES (Procédés, Matériaux et Énergie Solaire) en 2004, suite à un recentrage de ses activités sur l'énergie solaire, l'unité était connue en tant qu'Institut de sciences et de génie des Matériaux et Procédés (IMP, depuis 1986). PROMES a deux localisations principales (Odeillo et Perpignan), distantes de 100 km et une heure trente de voiture, ainsi qu'une autre localisation à Targasonne (à 5 km d'Odeillo).

Le resserrement des liens avec l'UPVD, depuis la création de l'IMP, s'est traduit par la construction d'un bâtiment dans la zone d'activités de Tecnosud à Perpignan, où des équipes perpignanaises du CNRS et de l'UPVD se sont regroupées en décembre 2001. Depuis 2006, l'unité développe des activités de recherche sur le site de la centrale solaire Thémis (propriété du conseil départemental des Pyrénées-Orientales) à Targasonne, où une

petite partie des membres de PROMES travaillent. Deux équipes universitaires ont rejoint PROMES en 2010 et 2011 : l'une d'électronique, énergie électrique et automatique, et l'autre de physique du solide centrée sur le nano-magnétisme et la plasmonique.

## ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE DE L'UNITÉ

Au niveau international, PROMES participe au programme de collaboration technologique (TCP) de l'IEA (International Energy Agency) appelé SolarPACES (Solar Power, Thermal and Chemical Energy Systems), qui réunit l'ensemble des acteurs mondiaux du solaire à concentration. Un membre de l'unité préside le comité exécutif de ce programme. L'unité a coordonné deux IRN (International Research Network) CNRS pendant la période. Le premier IRN, intitulé SINERGIE (French-Singaporean network on renewable enERGIEs), réunit PROMES, la Nanyang Technological University et ENGIE Lab à Singapour ainsi que 28 autres unités rattachées au CNRS ou au CEA. Ce réseau concerne les énergies renouvelables. Le second IRN porte sur les Nanomatériaux Multifonctionnels contrôlés (IRN NMC). Il rassemble PROMES, l'Université de Montréal, l'INRS Canadien (Institut National de la Recherche Scientifique), l'École Polytechnique de Montréal et 27 unités du CNRS.

Au niveau européen, PROMES est responsable de l'infrastructure de recherche (IR) FR-Solaris, qui constitue le nœud français de l'infrastructure européenne EU-Solaris (European Research Infrastructure for Solar Power/Solar Thermal Energy), un consortium de type ERIC (European Research Infrastructure Consortium). FR-Solaris regroupe tous les moyens d'essais de PROMES en lien avec l'énergie solaire. L'ERIC EU-Solaris est à l'origine des deux projets européens SolaRize et RISEnergy (dont PROMES est partenaire), financés par Horizon Infra et permettant de faciliter l'accès des chercheurs européens aux installations solaires de PROMES. Ces deux projets ont débuté en 2024, faisant suite au projet européen H2020 SFERA III (Research Infrastructure program, dont PROMES était partenaire), qui a permis de structurer la communauté européenne du solaire concentré. PROMES participe à l'EERA JP-CSP (European Energy Research Alliance Joined Program Concentrated Solar Power), qui est un réseau européen dont la mission est la définition du SET plan (European Union's Strategic Energy Technology), visant à définir les voies de recherche pour le renforcement de la transition énergétique européenne.

Au niveau national, l'unité bénéficie des programmes d'investissement d'avenir (PIA). Elle a obtenu l'équipex SOCRATE (SOlaire à Concentration, Recherches Avancées et Technologies Énergétiques) entre 2011 et 2021, dont l'objectif a été de mettre en place la plateforme nationale de R&D sur le solaire à concentration. PROMES coordonne le labex SOLSTICE (SOlaire : Sciences, Technologies, Innovations pour la Conversion de l'Énergie) depuis 2011. Ce labex, qui est prolongé jusqu'en 2027, réunit des équipes de trois unités de recherche de la région Occitanie : RAPSODEE (IMT Mines Albi, UMR CNRS 5302), IES (université de Montpellier, UMR CNRS 5214) et PROMES. Les domaines de recherche concernent les procédés de conversion de l'énergie solaire thermique et PV, la sélectivité spectrale des matériaux, les combustibles de synthèse issus de l'énergie solaire, etc.

Dans le cadre de France 2030, l'unité participe à plusieurs programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR). PROMES coordonne le projet ciblé SHIP4D (Chaleur solaire pour la décarbonation) dans le cadre du PEPR SPLEEN (décarbonation de l'industrie) et participe aux projets HyMES (Modélisation hybride pour les systèmes multi-énergie) et DC-ARCHITECT (Réseau de distribution en courant continu) dans le PEPR TASE (Systèmes énergétiques et énergies renouvelables). PROMES participe aussi au projet ALEUTIAN (Alliages EUtectiques développés par Intelligence Artificielle et calculs Numériques) dans le cadre du PEPR DIADEM (Dispositifs Intégrés pour l'Accélération du Déploiement de Matériaux Émergents).

Les membres de PROMES s'impliquent dans l'animation des réseaux CNRS, notamment en occupant les fonctions de : directrice adjointe de FEDESOL (la fédération de recherche CNRS sur l'énergie solaire) ; membre du bureau de FdDPV (la fédération de recherche CNRS sur le photovoltaïque) ; membre du conseil scientifique du GDR CNRS Tamarys, portant sur les transferts radiatifs et les matériaux.

Au niveau régional, PROMES est impliqué dans un défi clé de la région Occitanie sur le photovoltaïque en conditions non standards (PV-STAR) en collaboration avec l'IES (Montpellier). L'unité est également membre du pôle de compétitivité DERBI (Développement des Énergies Renouvelables dans le bâtiment et l'Industrie) depuis sa création en 2005.

Au niveau local les membres de l'unité sont impliqués dans la Fédération de Recherche Énergie-Environnement (FREE) de l'UPVD, dont le directeur est un membre de PROMES. Cette fédération pluridisciplinaire (SHS, sciences de l'univers, biologie, écologie, environnement et ingénierie) réunit seize unités de recherche de l'UPVD et ambitionne de développer des projets communs.

## EFFECTIFS DE L'UNITÉ : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2024

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	11
Maitres de conférences et assimilés	22
Directeurs de recherche et assimilés	5
Chargés de recherche et assimilés	5
Personnels d'appui à la recherche	39
<b>Sous-total personnels permanents en activité</b>	<b>82</b>
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	4
Personnels non permanents d'appui à la recherche	6
Post-doctorants	4
Doctorants	30
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>44</b>
<b>Total personnels</b>	<b>126</b>

## RÉPARTITION DES PERMANENTS DE L'UNITÉ PAR EMPLOYEUR : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2024. LES EMPLOYEURS NON TUTELLES SONT REGROUPÉS SOUS L'INTITULÉ « AUTRES ».

Nom de l'employeur	FC	C	PAR
CNRS	0	10	34
Université de Perpignan Via Domitia	33	0	5
<b>Total général</b>	<b>33</b>	<b>10</b>	<b>39</b>

## AVIS GLOBAL

PROMES est une unité qui bénéficie d'une infrastructure de recherche exceptionnelle et unique au monde. Elle dispose indéniablement d'une identité internationale reconnue dans le domaine de l'énergie solaire et notamment sur le solaire concentré. Les trois axes thématiques (CSPG, SCS et MEE) participent à la reconnaissance internationale de l'unité. PROMES a consolidé sa position de leader international sur les centrales solaires thermodynamiques à concentration (CSPG) et leurs évolutions vers des applications hybrides. Parmi les réalisations remarquables, on note le développement de récepteurs solaires haute température (700–800 °C) utilisant des particules solides comme fluide caloporteur et milieu de stockage, ainsi que les aspects de modélisation, notamment pour la simulation numérique des transferts de chaleur à haute température et l'utilisation de l'intelligence artificielle pour le pilotage optimisé des réseaux énergétiques solaires. La thématique SCS est un acteur de référence sur les procédés solaires durables pour la production d'énergie et la gestion de l'eau, notamment dans les domaines des procédés thermochimiques et hybrides pour la conversion et le stockage d'énergie solaire, les systèmes de sorption thermochimique pour la production de froid et les photoréacteurs catalytiques solaires pour le traitement solaire de l'eau. La thématique MEE est réputée pour la conception et la caractérisation de matériaux avancés soumis à des conditions extrêmes (jusqu'à 3 000 °C), avec des réalisations importantes comme l'étude de composites pour les boucliers thermiques jusqu'à 2 600 K et la mise au point de couches sélectives pour les récepteurs solaires à haute performance.

PROMES affiche une très bonne production scientifique soutenue et diversifiée (467 publications au cours de la période, ce qui correspond à 2,6 publications par an et par ETP), qui couvre tout le spectre de l'énergie solaire, du génie des procédés et des matériaux (Prog. Energy Combust. Sci., Sol. Energy, Renewable Energy, Chem. Eng. Sci., Phys. Rev. B, Energy Convers. Manage., AIChE J.). La répartition entre les thématiques est hétérogène, avec une moyenne de cinq ACL par ETP et par an pour la thématique CSPG, quatre pour la thématique SCS

et 1,9 pour la thématique MEE. Près de 30 % des articles sont réalisés en collaboration avec des unités étrangères.

L'attractivité de l'unité est mondiale grâce à ses plateformes expérimentales uniques, comme le grand four solaire d'Odeillo (de 5 000 à 16 000 soleils), une microcentrale solaire pilote avec stockage de chaleur et la centrale à tour Thémis de 5 MW. Dans ce cadre, l'unité coordonne l'infrastructure nationale FR-Solaris, nœud français de EU-Solaris (ERIC). L'unité est très active au niveau européen. Elle participe ou a participé à quinze projets européens, dont quatre en tant que coordinateur (3 H2020 et 1 Horizon Europe). Au niveau national, l'unité est aussi très présente avec la participation à vingt projets financés par l'ANR, dont neuf en coordination. L'unité est également très impliquée dans le programme d'investissements d'avenir et France 2030, avec la coordination du labex SOLSTICE et de l'équipex SOCRATE. Elle participe à quatre PEPR : SPLEEN, DIADEME TASE et LUMA.

L'unité a développé de très bonnes collaborations avec le monde industriel avec dix contrats industriels directs et la participation à sept projets financés par l'ANR en collaboration avec des entreprises. Elle est à l'origine de la création de deux start-up : CSP-BOOST (ingénierie spécialisée dans le développement, la commercialisation et la valorisation des technologies solaires à concentration) et SESA (solutions de prévision de la ressource solaire). L'unité a une activité remarquable de partage des connaissances et de diffusion des savoirs auprès du grand public et des publics scolaires, grâce au site emblématique du four solaire d'Odeillo. L'unité a assuré, lors de la période, plus de 50 visites sur l'ensemble des plateformes.

La trajectoire de l'unité est de maintenir et de renforcer son leadership dans le développement des recherches et des technologies nécessaires au déploiement de l'énergie solaire à concentration. Les trois thématiques participent à cet objectif, renforçant ainsi la visibilité de l'unité sur l'utilisation du solaire. La thématique CSPG a pour objectif d'augmenter la température de travail du solaire à concentration de manière à couvrir au mieux les besoins industriels en chaleur solaire. La thématique SCS va se concentrer sur des dispositifs innovants de stockage et de conversion de l'énergie fatale/solaire avec des procédés thermochimiques hybrides comme le stockage de l'électricité par des procédés thermochimiques et la purification de l'eau et le dessalement. La thématique MEE va développer des nanomatériaux à propriétés optiques contrôlées dans le but d'accompagner la transition énergétique. La trajectoire de l'unité sur le développement de l'énergie solaire, qui constitue son image de marque incontournable, est tout à fait pertinente et en complète adéquation avec les activités actuelles.

# ÉVALUATION DÉTAILLÉE DE L'UNITÉ

## A - PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Une recommandation incitait les équipes ayant un faible taux de publication à publier dans des revues internationales. Cette recommandation a été en partie prise en compte grâce à la restructuration des huit équipes du précédent contrat en trois thématiques scientifiques. On note en effet que la thématique Matériaux pour l'Énergie et l'Espace présente un taux de publication plus faible que les deux autres thématiques au cours de la période (1,9 ACL/ETP /an pour MEE, 4 ACL/ETP/an pour CSC et 5 ACL/ETP/an pour CSPG). La disparité entre les taux de publication des membres de l'unité est toujours présente. On note également un faible nombre (3) d'enseignants-chercheurs non produisant.

Le précédent comité avait recommandé d'accroître le budget mutualisé afin de faire naître davantage de collaborations entre les équipes. Au cours de la période évaluée, le montant du budget mutualisé a été important avec en moyenne 93 k€/an. La réduction du nombre d'équipes a eu aussi un impact positif sur cette recommandation. La création des cellules d'initiatives en 2021 a également permis d'intensifier les échanges au sein de l'unité, du fait de leur caractère transverse.

L'évaluation précédente recommandait d'augmenter la valeur unitaire des contrats de recherche avec l'industrie. Au cours de la période d'évaluation, le financement moyen des contrats est de 57 k€, ce qui est très bien.

Le précédent comité recommandait également de poursuivre les efforts portés sur les projets européens. L'unité est toujours très engagée au niveau européen par sa participation à quinze projets européens au cours de la période (dont quatre comme porteur) et son implication dans l'EERA. L'infrastructure européenne EU-Solaris est aussi un moyen de préserver l'attractivité de l'unité au niveau européen. Cette attractivité s'est traduite par le recrutement d'un chargé de recherche CNRS ayant fait un post-doctorat dans PROMES, comme le recommandait le comité de la précédente évaluation.

La réflexion sur l'évolution prévisionnelle des ressources humaines sur le site d'Odeillo a été prise en compte par la mise en place de services de soutien à la recherche inter-sites, sauf bien sûr le service lié aux installations solaires à concentration. La thématique sur les matériaux à haute température pour la rentrée atmosphérique est moins représentée au niveau des chercheurs suite à un récent départ en retraite.

Le comité précédent avait recommandé de restructurer l'unité en trois axes thématiques pour améliorer la lisibilité scientifique de l'unité. Cette structuration en trois thématiques a été mise en place et fonctionne depuis le 1<sup>er</sup> mai 2021.

La recommandation concernant la mise en place d'une offre de formation initiale et continue sur le site d'Odeillo, en s'appuyant sur le projet de développement de l'UFR STAPS de Font-Romeu, n'a pas pu être suivie car ce projet a été abandonné par l'UPVD.

Comme recommandé par le précédent comité, l'unité a profité des conditions favorables du contexte régional en étant porteur d'un défi clé sur le photovoltaïque en conditions non standards avec l'IES de Montpellier. L'unité est aussi membre de deux comités de stratégie régionale de l'innovation de la région Occitanie. PROMES bénéficie également de financements régionaux pour des contrats doctoraux.

## B - DOMAINES D'ÉVALUATION

### DOMAINE 1 : OBJECTIFS SCIENTIFIQUES, ORGANISATION ET RESSOURCES DE L'UNITÉ

#### Appréciation sur les objectifs scientifiques, l'organisation et les ressources de l'unité

PROMES est une unité qui bénéficie d'une infrastructure de recherche exceptionnelle et unique au monde. Elle dispose indéniablement d'une identité internationale reconnue dans le domaine de l'énergie solaire et notamment sur le solaire concentré. L'unité s'est organisée pour développer et maintenir une recherche d'excellence en s'appuyant sur des savoir-faire et des compétences uniques. Les ressources financières sont solides et diversifiées, soutenues par des contrats européens d'envergure et des succès notables aux appels à projets de l'ANR. L'implication de l'unité au sein des comités/instances nationales et internationales est un atout qu'il conviendra de préserver au travers de la transition génératielle engagée.

1/ L'unité s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents et elle s'organise en conséquence.

2/ L'unité dispose de ressources adaptées à ses objectifs scientifiques, à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise.

3/ L'unité dispose de locaux, d'équipements et de compétences techniques adaptés à sa politique scientifique et à ses objets de recherche.

4/ Les pratiques de l'unité sont conformes aux règles et aux directives définies par ses tutelles en matière de gestion des ressources humaines, de sécurité, d'environnement et de protection des données ainsi que du patrimoine scientifique.

#### Points forts et possibilités liées au contexte pour les quatre références ci-dessus

PROMES dispose d'une stratégie claire qui est bien identifiée sur l'enjeu de la transition énergétique, la décarbonation de la production et du stockage d'énergie et des procédés au moyen de l'énergie solaire et notamment le solaire concentré. Pour ce faire, l'unité s'appuie sur des dispositifs de financements bien identifiés et diversifiés : Europe (H2020, Horizon, pacte vert), France (ANR, CNRS, PEPR Spleen et TASE), région Occitanie (Défis clés), local (UPVD). Les approches mises en œuvre reposent sur un triptyque expériences/théorie/numérique grâce à des approches originales multiéchelles et pluridisciplinaires.

Les activités de recherche de PROMES s'articulent autour d'une infrastructure expérimentale exceptionnelle et unique au monde sur le site d'Odeillo (nœud français FR-Solaris de l'infrastructure européenne EU-Solaris sur le solaire concentré) comprenant plusieurs dispositifs d'exception : le grand four solaire, la centrale Thémis, une micro-centrale solaire linéaire, etc. Ces installations de recherche sont partagées par les trois thématiques de l'unité et sont en phase avec les objectifs scientifiques fixés. Cette infrastructure de recherche a permis à l'unité d'accueillir (Transnational Access) 90 équipes de chercheurs internationaux au cours de la période d'évaluation. D'autres dispositifs expérimentaux spécifiques (bancs de photocatalyse, production de froid solaire, dépôt couches minces, détections de défauts de panneau PV, etc.) disponibles sur le site de Perpignan complètent la liste des installations expérimentales. Le fonctionnement de ces installations s'appuie sur des PAR compétents disposant d'expertises fortes sur des équipements pointus. La restructuration autour de trois axes thématiques scientifiques et l'organisation en services techniques mutualisés entre les deux sites permettent d'exploiter au mieux les installations.

En matière de ressources financières, PROMES s'appuie sur les dotations récurrentes de l'UPVD et du CNRS qu'elle complète par des prélèvements sur contrats (4 ou 7 % selon le type de contrat) afin de mener sa politique scientifique d'unité (env. 90 k€/an). Les financements sur projets sont très importants et représentent un montant total de près de 19,5 M€ de contrats signés au cours de la période (31,5 M€ en tenant compte des contrats signés précédemment et poursuivis au cours de la période). Ces derniers sont diversifiés et relativement équilibrés : environ 33 % de financements internationaux (Europe principalement), 33 % de financements nationaux et 33 % de financements régionaux. Le taux de financements en réponse aux appels à projets compétitifs est remarquable au plan européen avec quinze contrats (7 H2020, 5 Horizon dont 4 portés par l'unité et 3 Interreg) et au plan national avec vingt contrats financés par l'ANR (dont 9 portés par l'unité). Ces succès montrent également que l'unité s'est dotée des outils et des compétences nécessaires pour la gestion de tels

projets d'envergure. PROMES s'appuie en outre sur divers instruments de financement pour son ressourcement et la jouvence de ses équipements (labex, PEPR, équipex, CPER/FEDER, région). On peut mentionner que les conventions de recherche sont en lien avec des acteurs du monde socio-économique des secteurs public (CNES, CEA, ESA, NASA, etc.) et/ou privé (Airbus, Total Énergie, Thales, etc.). Les financements industriels directs et la pré-maturité représentent environ 8 % (1,56 M€) du total des ressources propres de l'unité.

Pour sa gouvernance, la direction de l'unité s'appuie (en plus de la « comitologie » classique : conseil d'unité, conseil scientifique, Comité Hygiène et Sécurité) sur six services mutualisés, deux assistants de préventions et neuf cellules d'initiatives (démarche bottom-up). Ces cellules ont été créées sur la base du volontariat afin d'explorer et de traiter des sujets spécifiques. À titre d'exemples, les cellules d'initiatives s'emparent de sujets comme : l'égalité des regards et des chances (un livret des bonnes pratiques a été rédigé et adopté par l'unité) ; la qualité de vie et les conditions de travail ; l'éco-responsabilité (réalisation d'un bilan de gaz à effet de serre lié aux activités de l'unité). Les remontées des travaux de ces cellules se font par le conseil d'unité.

### Points faibles et risques liés au contexte pour les quatre références ci-dessus

La pyramide des âges des personnels de l'unité est défavorable, ce qui constitue un risque. En effet, 50 % des chercheurs ont plus de 60 ans. Pour les PAR, le changement générationnel a commencé (7 dont 5 CNRS ont plus de 60 ans) et va s'accentuer (9 dont 8 CNRS ont entre 55 et 59 ans). La perte de technicité, la perte de connaissances et la perte des savoir-faire acquis sur certaines installations uniques constituent un risque majeur pour la pérennité des installations sur le site d'Odeillo. De façon plus générale, la transition générationnelle constitue un risque et un point de vigilance fort.

Le site d'Odeillo héberge essentiellement des activités de recherche, ce qui rend difficile le positionnement d'enseignants-chercheurs sur ce site. Cela limite les possibilités de maintien/renouvellement des ressources humaines sur ce site historique du fait de l'engagement limité de l'UPVD. Cela requiert également une organisation et des efforts collectifs pour maintenir la très bonne cohésion constatée au sein des thématiques, des services et plus globalement de l'unité. Par ailleurs, l'éloignement de la Délégation Régionale 13 du CNRS peut parfois également conduire à des complications. Les formations des personnels organisées à la délégation, loin d'Odeillo, peut conduire, par exemple, à renoncer à ces formations.

L'appartenance des personnels à différents établissements (CNRS et UPVD), leur diversité (permanent, contractuel, doctorant, stagiaire, etc.) peut conduire à des démarches/procédures différentes et nécessite une communication régulière sur les procédures et les règles de sécurité.

Les faibles perspectives d'évolution de carrière des EC (pas de repyramide au cours de la période et peu de postes de professeur à venir) associées au nombre croissant d'EC avec une HDR risquent de conduire à une démotivation de ces personnels. De plus, ces personnels sont généralement très fortement impliqués dans les activités collectives liées à l'établissement (recherche et/ou responsabilités administratives et pédagogiques). C'est un risque pour l'unité.

## DOMAINE 2 : LES RÉSULTATS, LE RAYONNEMENT ET L'ATTRACTIVITÉ SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

### Appréciation sur les résultats, le rayonnement et l'attractivité scientifiques de l'unité

PROMES affiche une production scientifique soutenue et diversifiée, qui couvre tout le spectre de l'énergie solaire et des matériaux. La qualité des publications, la diversité thématique et l'ancrage international font de l'unité un acteur de tout premier plan dans la recherche sur le solaire à concentration et les matériaux énergétiques avancés. La production met en évidence un fort impact scientifique renforcé par la visibilité internationale et la qualité des projets coordonnés.

L'attractivité de PROMES réside en grande partie dans ses plateformes expérimentales uniques. Forte de ses unicités techniques, l'unité coordonne l'Infrastructure nationale FR-Solaris, nœud français de EU-Solaris (ERIC), ce qui est notable. PROMES s'affirme internationalement, par son rôle dans SolarPACES (IEA), EU-Solaris, et dans plusieurs projets européens majeurs ainsi que nationalement, et régionalement. Son ancrage européen est particulièrement solide et PROMES possède un rôle moteur dans la coordination de projets H2020/Horizon Europe.

1/ L'unité est reconnue pour ses réalisations scientifiques qui satisfont à des critères de qualité.

2/ Les activités de recherche de l'unité donnent lieu à une production scientifique de qualité.

3/ L'unité participe à l'animation et au pilotage de sa communauté.

4/ La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.

#### Points forts et possibilités liées au contexte pour les quatre références ci-dessus

PROMES dispose d'un rayonnement international attesté par une production scientifique soutenue et diversifiée (466 publications, correspondant à 2,6 articles par ETP et par an, au cours de la période dans des revues scientifiques à comité de lecture et 206 communications orales dans des conférences internationales), qui couvre tout le spectre de l'énergie solaire et des matériaux. La production de l'unité est caractérisée par une activité de publication régulière dans les meilleures revues internationales à comité de lecture. Les membres de l'unité publient dans des journaux de référence tels que : Prog. Energy Combust. Sci., Sol. Energy, Renewable Energy, Chem. Eng. Sci., Phys. Rev. B, Sol. Energy Mater Sol. Cells, Cer. Int., Energy Convers. Manage., Nanotechnology, AIChE J., etc. L'unité combine recherche fondamentale, appliquée et technologique, ce qui renforce sa visibilité internationale. L'unité a également publié à l'international un livre de référence sur le solaire à concentration (Concentrating Solar Thermal Energy : Fundamentals and Applications, Eds. Wiley).

Le niveau de production scientifique de PROMES est élevé, reconnu, mais il marque un léger fléchissement au cours des deux dernières années (71 ACL en 2019, 87 en 2020, 87 en 2021, 81 en 2022, 74 en 2023, 65 en 2024). La qualité des publications, la diversité thématique et l'ancre international font de PROMES un acteur de tout premier plan dans la recherche sur le solaire à concentration et sur les matériaux énergétiques avancés. Sa stratégie scientifique relie excellence académique et impact socio-économique.

Au cours de la période, PROMES a consolidé une position de leader international dans la recherche sur les centrales solaires thermodynamiques à concentration (CSP) et leurs évolutions vers des applications hybrides. Plusieurs réalisations clefs dans ce domaine concernent la thématique CSPG. On note le développement de récepteurs solaires haute température (700-800 °C) utilisant des particules solides comme fluide caloporteur et milieu de stockage (Prog. Energy Combust. Sci., 2023). Cette approche inédite et brevetée a été validée à l'échelle pilote au cours de la période (2 MW) dans le cadre de projets européens (Next-CSP, Powder2Power) portés par l'unité. On note aussi une avancée dans la modélisation des transferts de chaleur turbulents avec le développement de corrélations adaptées aux conditions de chauffage dissymétrique et aux forts flux grâce à une approche croisée de simulation numérique des grandes échelles et de simulation numérique directe (Int. J. Heat and Mass Transfer, 2021). À l'échelle réseau, les membres de PROMES ont développé une approche stochastique pour le pilotage et l'optimisation des réseaux énergétiques solaires en incluant les incertitudes liées aux prévisions énergétiques (IEEE Trans. Power Systems, 2021).

Les membres de PROMES ont également apporté des contributions décisives dans le domaine des procédés thermochimiques et hybrides pour la conversion et le stockage d'énergie solaire (thématische SCS). Les réalisations clefs concernent : la conception et la validation d'un gazéificateur solaire autotherme/hybride (publication Chemical Engineering Journal, 2023) ; la mise au point de systèmes de sorption thermochimique pour la production de froid et la conversion de chaleur (Energy Conversion and Management, 2022) ; la réalisation de réacteurs photocatalytiques à  $TiO_2$  pour le traitement solaire de l'eau (AIChE Journal, 2024). Ces recherches positionnent PROMES comme un acteur de référence mondial sur les procédés solaires durables pour la production d'énergie et la gestion de l'eau.

PROMES excelle dans la conception et la caractérisation de matériaux avancés soumis à des conditions extrêmes (jusqu'à 3 000 °C), en lien avec le CNES, la NASA et l'ESA. Les avancées scientifiques de la thématique MEE au cours de la période concernent : l'étude de composites à base de diborures et silicides ( $TaSi_2$ ) pour les boucliers thermiques jusqu'à 2600 K (Ceram. Int., 2022) ; la mise au point de couches sélectives pour récepteurs solaires à haute performance (Surf. Coat. Technol., 2023) ; l'élaboration de nanoparticules dopées  $ZnO:Al$  par voie aqueuse éco-compatible (Mater. Lett., 2023). La synthèse de nanoparticules d'or de taille contrôlée dans une matrice organique par procédé plasma constitue une voie originale qui a valu à la thématique une reconnaissance internationale avec l'obtention de deux prix : le Plasma Chemistry Award en 2023 et l'Ulrich Kogelschatz Lecture Award en 2025.

PROMES bénéficie d'un excellent rayonnement international, marqué par des succès à des appels à projets compétitifs internationaux, notamment dans la thématique CSPG : participation à quinze projets européens, dont la coordination de trois H2020 et un Horizon Europe (SFERA III, RISEnergy, Powder2Power, etc.). Les membres de l'unité ont donné 21 conférences invitées dans des conférences internationales. L'obtention de deux prix par la thématique MEE concourt à ce rayonnement. Au plan national, PROMES intervient comme unité pivot du labex SOLSTICE, des PEPR Spleen, TASE et DIADEM. Au plan régional, PROMES est un acteur majeur du Défi clé PV-STAR, en cohérence avec la stratégie énergétique de la région Occitanie (Région à Énergie Positive – REPOS).

L'attractivité de PROMES réside en grande partie dans ses plateformes expérimentales uniques : le Grand Four Solaire d'Odeillo (1 MWth) avec des expérimentations à haute température ; une microcentrale solaire pilote (150 kWth) avec stockage et turbine ORC, une plateforme de caractérisation des matériaux ; la centrale Thémis à Targassonne. Au cours de la période, 90 équipes étrangères ont été accueillies par l'unité dans le cadre de contrats européens (SFERA et RisEnergy) et 24 chercheurs ont été invités en dehors de ces contrats.

L'implication des membres de l'unité dans les réseaux internationaux est excellente avec la présidence du Comité Exécutif de SolarPACES (IEA) et la coordination de deux IRN (IRN SINERGIE avec la Nanyang Technological University et IRN NMC avec l'Université de Montréal). L'ancrage européen est particulièrement solide comme l'atteste la coordination par l'unité de l'infrastructure nationale FR-Solaris, nœud français de l'infrastructure européenne EU-Solaris (ERIC). Les membres de l'unité se sont également fortement impliqués dans les instances de pilotage ou d'évaluation de la recherche au cours de la période (présidence de la section 10 du CoNRS, conseillère scientifique panel au Hcéres, membre de commission d'évaluation de l'ANR, etc.).

La forte implication des EC sur l'enseignement et la formation par la recherche se traduit au sein de l'UPVD, notamment par la direction de l'école d'ingénieurs Sup'ENR et le projet de construction d'un nouveau bâtiment à Perpignan.

#### Points faibles et risques liés au contexte pour les quatre références ci-dessus

Le niveau de publication est globalement très bon, mais des hétérogénéités apparaissent entre les thématiques et à l'intérieur des thématiques. Un certain nombre de chercheurs, locomotive de leur thématique et fortement publant, sont maintenant à la retraite (cas de l'action matériaux pour le spatial de la thématique MEE). Il faut donc s'attendre à une baisse de publication dans les années à venir, le temps que la nouvelle génération prenne le relais.

Le marché du solaire à concentration est aujourd'hui moins compétitif par rapport à d'autres filières telles que le photovoltaïque ou l'éolien. Cette situation rend plus ardu le montage de projets dans ce domaine, ainsi que les taux de succès associés, au plan national comme international (en particulier européen).

Il apparaît une diminution progressive (de 53 doctorants en 2019 à 41 en 2024) du nombre de thèses portées par l'unité. Cela est dû en partie au faible nombre de thèses allouées (environ deux par an) par l'école doctorale à l'unité (en compétition avec l'ensemble des unités de l'UPVD), mais aussi à la fin du labex SOLSTICE (qui devrait être reconduit en 2027), et aux baisses des cofinancements de la région Occitanie (qui a réduit depuis 2023 les allocations de moitié).

### DOMAINE 3 : INSCRIPTION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LA SOCIÉTÉ

#### Appréciation sur l'inscription des activités de recherche de l'unité dans la société

L'unité développe des activités importantes avec le monde socio-économique à travers des contrats industriels et de collaboration (931 k€). Les interactions avec le monde socio-économique sont notables pour ce qui concerne les contrats de collaboration de recherche obtenus en réponse à des appels à projets compétitifs notamment en lien avec la centrale Thémis (7 contrats PRCE financés par l'ANR dont 4 portés par l'unité et 15 projets européens, dont 4 en tant que coordinateur). Les activités de PROMES ont donné lieu à huit brevets au cours de la période, à la création de deux start-up et à six projets de maturation (1880 k€), témoignant du dynamisme de l'unité en matière d'innovation et de valorisation. Trois outils numériques ont été mis à disposition de la communauté du solaire illustrant l'ouverture de l'unité. L'implication de l'unité dans le partage des connaissances vers le grand public est remarquable, en particulier grâce à ses grands équipements (grand four solaire d'Odeillo, centrale à tour Thémis).

1/ L'unité se distingue par la qualité de ses interactions avec le monde culturel, économique et social.

2/ L'unité développe des produits et des services à destination du monde culturel, économique et social.

3/ L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.

#### Points forts et possibilités liées au contexte pour les trois références ci-dessus

L'unité développe des activités importantes avec le monde socio-économique. Au cours de la période d'évaluation, elle a obtenu neuf contrats industriels directs d'une valeur moyenne d'environ 33 k€, pour un total de 327 k€. Ces contrats concernent des industriels français (TotalÉnergies, ENGIE, Thales Alenia, SUNCNIM, Airbus, etc.) et internationaux (Ishikawajima Heavy Industries Corporation au Japon, Groupe Richemont en Suisse, etc.). Huit contrats relèvent des thématiques SCS (5) et MEE (3) et un contrat concerne la thématique CSPG. Chaque thématique a également bénéficié d'un dispositif Cifre au cours de la période (Total, SUNCNIM, Auréa-Tech) pour un total de 299 k€. Les trois thématiques ont obtenu sept contrats de collaboration de recherche pour un montant global de 305 k€ avec le CEA (3 pour CSPG et 1 pour SCS) et le CNES (2 pour MEE et 1 pour SCS).

Les interactions avec le monde socio-économique sont notables pour ce qui concerne les contrats de collaboration de recherche obtenus en réponse à des appels à projets compétitifs. Chacune des thématiques est impliquée dans des projets PRCE financés par l'ANR (7 au total dont 4 portés par l'unité) associant des entreprises de toutes tailles, allant de grands groupes (groupe japonais Osaka Gas Chemical, PSA) à des établissements de taille intermédiaire (Value Park, HEF) et des PME (H2SYS, Kapteos, Marion Technologies).

En particulier la thématique CSPG a porté les projets européens NEXT-CSP (H2020, 1400 k€) et Powder2Power (Horizon, 2 300 k€) concernant les récepteurs solaires tubulaires à lit fluidisé (brevet déposé en 2010 dans plusieurs pays) dans le cadre de collaborations industrielles récurrentes, notamment avec EDF. Ces projets, qui atteignent des niveaux de TRL 6-7, sont menés, en s'appuyant sur la centrale solaire Thémis qui constitue un point fort de l'unité, mis judicieusement à profit par la thématique CSPG.

L'unité est à l'origine de la création de deux start-up au cours de la période : CSP-Boost (2022, start-up d'ingénierie spécialisée dans le développement, la commercialisation et la valorisation des technologies solaires à concentration) et SESA (2021, start-up spécialisée dans les solutions de prévision de la ressource solaire). Ces deux sociétés exploitent des brevets dont des membres de PROMES sont co-inventeurs, illustrant ainsi le dynamisme de l'unité en matière de transfert technologique. Par ailleurs, au cours de la période, huit nouveaux brevets (3 français, 2 européens, 1 aux USA et 2 mondiaux) issus des travaux des thématiques SCS et MEE ont été déposés, ce qui témoigne du dynamisme de l'unité en matière d'innovation et de valorisation. Ils couvrent plusieurs domaines liés aux matériaux et aux procédés (matériaux actifs pour la production de H<sub>2</sub> ou de CO, couches minces sélectives pour la conversion solaire sous concentration), un procédé de traitement de l'eau par voie solaire, la réfrigération solaire et la production d'électricité avec stockage de chaleur.

Un autre point fort de l'unité concerne sa capacité à obtenir le soutien de la SATT AxLR et de CNRS Innovation pour financer des projets de prématuration. Au cours de la période, six projets de prématuration (pour un total de 1 453 k€) ont été obtenus par PROMES. Ces projets, dont quatre au bénéfice de la thématique CSPG, ont concerné : un dispositif à cycle thermochimique hybride, un pilote de rafraîchissement solaire pour site désertique isolé, un pilote solaire de dessalement d'eau, la prévision de la ressource solaire pour le pilotage infra-journalier de centrales solaires en utilisant l'IA, un absorbeur solaire volumique, la fusion solaire de verre recyclé). Deux de ces projets (dont un en cours) sont valorisés par la start-up SESA, trois n'ont finalement pas abouti à un transfert ou à la création d'entreprise, et un autre est en cours.

Parmi les produits développés par l'unité au cours de la période, deux logiciels de calcul (SOLSTICE et SolPOC) et un module implémenté dans le logiciel libre TrioCFD ont été conçus et mis à disposition de la communauté du solaire. Le logiciel SOLSTICE est un exécutable open source permettant de produire des cartes de flux à partir de fichiers d'entrée décrivant la géométrie de systèmes optiques. Le logiciel SolPOC est un code conçu pour résoudre les équations de Maxwell dans des structures multicouches optiques, permettant de calculer rapidement la réflectivité, la transmittivité et l'absorptivité d'empilements de couches minces sur un spectre solaire complet, contrairement aux codes optiques traditionnels. Ces trois résultats illustrent la capacité de l'unité à développer des outils utiles à sa communauté et à la mettre à sa disposition.

Par ailleurs, le comité note la réalisation de deux projets semi-participatifs portant sur l'artisanat solaire, en lien avec la torréfaction et la boulangerie. Un autre projet sur le thème de la crémation solaire porté par l'unité a

été cité récemment dans une tribune du Monde et est paru dans une revue professionnelle du funéraire (Résonance funéraire). Ces activités montrent l'ouverture de l'unité vers des problématiques sociétales.

L'unité présente une activité très soutenue de partage des connaissances et de diffusion des savoirs auprès du grand public et des publics scolaires. Grâce au site emblématique du grand four solaire d'Odeillo, elle dispose d'une forte attractivité. Cette dynamique est toutefois temporairement freinée par la réhabilitation de l'espace consacré aux visites, pour lequel d'importants travaux de modernisation sont actuellement à l'étude. Malgré ce contexte, l'unité a assuré, au cours de la période, plus de 50 visites sur l'ensemble des plateformes. Le grand public, les étudiants et les lycéens représentent à parts égales plus de 80 % des visiteurs. À l'occasion du 50<sup>e</sup> anniversaire du four solaire, plus de 600 visiteurs ont été accueillis en trois jours, événement qui a également donné lieu à l'édition d'un timbre postal renforçant la notoriété du site. Lors du passage de la flamme olympique en mai 2024, le four solaire a été le théâtre d'un spectacle « sons et lumières » réalisé avec des drones. Par ailleurs, des conférences grand public sont régulièrement proposées par les enseignants-chercheurs, et plusieurs reportages télévisés ont été réalisés par différents médias. L'unité est également présente dans des festivals et manifestations valorisant l'environnement et, en particulier, l'énergie solaire.

#### Points faibles et risques liés au contexte pour les trois références ci-dessus

La part des contrats directs avec les industriels est relativement faible par rapport aux autres voies de financement (931 k€ sur les 31 500 k€ de financements totaux au cours de la période). Cela se traduit également par un nombre très faible de dispositifs Cifre (3 thèses soutenues) au cours de la période d'évaluation, même si sept thèses sont financées par le CEA.

L'exploitation de la centrale Thémis, qui nécessite un budget important actuellement couvert par le programme européen Powder2Power, peut être à terme un risque financier pour l'unité.

Un risque lié à l'activité très soutenue de diffusion des savoirs auprès du grand public et des publics scolaires du fait de l'attractivité du four solaire est que cette activité se fasse au détriment des activités scientifiques.

## ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

L'objectif de l'unité est de maintenir et de renforcer l'organisation en trois thématiques mise en place lors du dernier contrat. De même pour la vie collective de l'unité, les cellules d'initiatives seront maintenues pour prendre en considération les problématiques proposées par les personnels.

L'unité est une référence nationale et internationale dans le développement des recherches et des technologies nécessaires au déploiement de l'énergie solaire, en particulier l'énergie solaire à concentration, comme alternative durable aux combustibles fossiles.

D'un point de vue scientifique, l'objectif est de valoriser les compétences pluridisciplinaires de l'unité par l'étude des processus physiques à l'échelle nanométriques (nanomatériaux) ou micrométrique (turbulence thermique, écoulements diphasiques), à l'échelle des composants et à l'échelle des procédés solaires. PROMES s'appuie sur huit enjeux, qui ont guidé la période précédente et qui comporte des évolutions pour le futur. Pour l'enjeu « Accroître l'efficience des centrales solaires pour la production de chaleur et d'électricité » (thématicque CSPG), l'objectif réellement pertinent sera d'accroître la gamme de températures couverte par les systèmes solaires afin d'augmenter le rendement des centrales et de couvrir la demande industrielle pour de la chaleur solaire. Pour l'enjeu « Stocker l'énergie solaire dans des combustibles renouvelables » (thématicque SCS), l'objectif sera de continuer à étudier le stockage de l'énergie solaire dans des combustibles renouvelables, dont l'hydrogène, ce qui est totalement en phase avec les objectifs de la transition énergétique. Concernant l'enjeu « Concevoir et réaliser des matériaux à propriétés optiques ou thermiques contrôlées » (thématicque MEE), les objectifs sont doubles et tout à fait justifiés. Il s'agira, d'une part, de concevoir des nanomatériaux à propriétés thermo-optiques ou électro-optiques contrôlées et, d'autre part, de caractériser ses matériaux en conditions extrêmes. L'enjeu « Mettre l'IA au service du développement de l'énergie solaire » (thématicque CSPG) est en phase avec les évolutions actuelles de modélisation. Il s'agit de continuer à l'utiliser pour prédir la ressource solaire et pour le contrôle et la maintenance des centrales solaires. L'enjeu « Développer des dispositifs innovants de stockage et de conversion de l'énergie solaire en énergies utiles » (thématicque SCS) continuera à travailler sur les procédés thermochimiques hybrides. Une application importante et pertinente sera le développement de batteries de Carnot pour le stockage de l'électricité par des procédés thermochimiques. L'enjeu « Améliorer l'accès à une eau plus propre grâce à l'énergie solaire » (thématicque SCS) sera axé sur la purification de l'eau et le dessalement en essayant de coupler un traitement continu avec une ressource intermittente et d'étudier l'hybridation avec d'autres procédés. Cet enjeu sociétal est important et pourra faire l'objet de collaboration avec des pays en voie de développement. L'enjeu « Imaginer et développer des dispositifs de conversion de l'énergie solaire concentrée » (thématicques MEE et CSPG) concerne le thermo-photovoltaïque solaire, qui est une thématique réellement originale. Le thermo-photovoltaïque associe le stockage thermique du rayonnement solaire concentré à très haute température (1 000-2 000 °C) et le photovoltaïque pour convertir le rayonnement solaire en électricité. Le dernier enjeu « Décarboner l'industrie par l'énergie solaire » (concerne l'ensemble de l'unité) est très important car associé à France 2030. Il a pour objectif de répondre à la demande des procédés requérant de fortes températures, notamment dans les domaines de la métallurgie, la verrerie et la cimenterie, avec les problématiques associées comme l'hybridation des sources d'énergie et le stockage thermique.

Les collaborations nationales et internationales de PROMES sont déjà très actives. La trajectoire de l'unité en matière de collaborations est dans la continuité tant au niveau français dans le cadre de la fédération FEDESOL, qu'au niveau européen dans le cadre de l'EERA. En particulier, la participation au programme de collaboration (SolarPACES) technologique de l'IAE (International Energy Agency) sera intensifiée. De même, la participation à l'ERIC EU-Solaris, qui coordonne les principales infrastructures de recherche européennes sur le solaire à concentration, est essentielle pour la visibilité de l'unité.

Au niveau français, l'unité se positionne logiquement pour être un acteur majeur sur le thème de la production, du stockage et l'utilisation de la chaleur haute température au sein de l'Agence de Programme pour l'Énergie Décarbonée (APED). Ce thème entre dans la stratégie nationale de décarbonation de l'industrie. L'unité continuera à être active dans la participation aux réseaux d'unités, soit au sein de fédérations (FEDESOL, FedPV) ou de GDR (Tamarys, MACS, RADIA, TransInt2, Solar Fuels, SEEDS, EMILI, Or-Nano). Ces différentes participations donnent à l'unité une reconnaissance internationale incontestable.

## RECOMMANDATIONS À L'UNITÉ

### RECOMMANDATIONS CONCERNANT LE DOMAINE 1 : OBJECTIFS SCIENTIFIQUES, ORGANISATION ET RESSOURCES DE L'UNITÉ

Le changement générationnel (chercheurs et EC) constitue un défi (dont les directions actuelles et à venir de l'unité sont conscientes) pour ne pas perdre le positionnement et le rayonnement régional, national et surtout international de l'unité et maintenir sa représentation au sein des comités/instances nationales et internationales. Il en est de même pour les PAR dont le renouvellement doit être organisé pour ne pas perdre la technicité et les compétences liées à ces métiers et garantir sur le long terme le bon fonctionnement des installations expérimentales. Cette transition, entamée, doit se poursuivre pour maintenir l'unité à son niveau de reconnaissance et s'organiser en utilisant tous les leviers de recrutement possibles offerts par les tutelles.

L'unité devra essayer de consolider ses interactions avec la formation, y compris, dans la mesure du possible, sur le site d'Odeillo, pour essayer de positionner des enseignants-chercheurs sur ce site.

Pour compléter les actions de communication interne à l'unité, une communication permanente par voie d'affiche (par exemple) sur les principales procédures, règles de sécurité et/ou contacts spécifiques pourrait être menée.

Le comité recommande à l'unité d'essayer de préparer les enseignants-chercheurs aux promotions à l'UPVD.

### RECOMMANDATIONS CONCERNANT LE DOMAINE 2 : LES RÉSULTATS, LE RAYONNEMENT ET L'ATTRACTIVITÉ SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

Les thématiques de PROMES doivent poursuivre leurs efforts de rayonnement scientifique transversal pour pérenniser leur dynamique exceptionnelle. La nouvelle structuration de l'unité est fonctionnelle et doit amener les personnels des deux sites à interagir de manière encore plus forte sur des projets portés en commun.

Un certain nombre de chercheurs fortement publant sont maintenant à la retraite ou vont partir. Le comité recommande à l'unité de bien accompagner la nouvelle génération de chercheurs dans la rédaction des articles pour éviter une baisse de la production dans l'avenir et dans le portage de projets.

L'unité devra chercher à maintenir son équilibre humain et financier de manière à pérenniser ses compétences technico-scientifiques et ses installations dans le domaine du solaire concentré pour lequel elle est unique en France et leader européen. Si ce leadership n'a pas de raison d'être remis en cause dans un avenir proche, le solaire concentré est en forte concurrence avec les autres types d'énergies renouvelables. Le comité recommande à l'unité de renforcer la thématique sur le stockage de l'énergie, qui est essentielle au développement du solaire concentré.

En ce qui concerne le nombre de doctorants, en raison de la conjonction d'un contexte local tendu, d'un soutien régional en baisse et d'une tendance nationale défavorable, le comité recommande de recourir, dans la mesure du possible, à des financements sur contrats. PROMES est déjà coutumier du fait, mais se doit d'amplifier cette démarche.

### RECOMMANDATIONS CONCERNANT LE DOMAINE 3 : INSCRIPTION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LA SOCIÉTÉ

L'unité a développé un très bon réseau de relations industrielles à travers des contrats directs et par l'intermédiaire des projets ANR PRCE. Elle est aussi active pour la valorisation des résultats de la recherche en soutenant deux start-up, en déposant des brevets et en déposant des projets de pré-maturité. La principale recommandation serait d'accroître la part de contrats industriels directs avec les industriels et d'augmenter le nombre de dispositifs Cifre, de manière à compenser la diminution du nombre de doctorants. Cependant, un point positif est le fait que les trois thématiques ont déjà eu des dispositifs Cifre.

Un point de vigilance concerne la suite du programme européen Powder2Power portant sur les récepteurs solaires tubulaires à lit fluidisé. Ces travaux sont menés sur la centrale Thémis à un niveau de TRL élevé. La pérennité de cette activité emblématique doit être réfléchie dès maintenant.

Grâce au site emblématique du grand four solaire d'Odeillo, l'unité a une activité très soutenue de diffusion des savoirs auprès du grand public et des publics scolaires. Cette activité ne doit pas se faire au détriment des

activités scientifiques et le comité encourage l'unité à rechercher des soutiens auprès des collectivités territoriales, comme c'est déjà le cas pour la centrale Thémis avec le soutien du département des Pyrénées-Orientales.

# ÉVALUATION PAR THÈME

**Thème 1 :** Centrales Solaires de Prochaine Génération - CSPG

Nom du responsable : M. Adrien Toutant

## THÉMATIQUES DU THÈME

Les activités de recherche de la thématique CSPG gravitent principalement autour des technologies solaires à concentration (CST). Elles visent à proposer des approches scientifiques multi-échelles permettant de mieux comprendre les processus mis en jeu et de lever des verrous à leur développement. Dans ce cadre, le thème CSPG se fixe pour mission principale de développer des solutions mettant en œuvre le solaire à concentration pour produire de la chaleur décarbonée et de l'électricité pilotable.

Cette approche passe notamment par la compréhension et la modélisation des processus couplés écoulement-transferts dans les récepteurs solaires. Ces études sont réalisées à différentes échelles et s'appuient sur le développement d'expérimentations à ces échelles. Cela permet de valider les modèles, d'analyser le comportement dynamique des systèmes, de mesurer les caractéristiques pertinentes pour le changement d'échelle, d'identifier et de transposer en problématique scientifique des observations faites lors du changement d'échelle. Cela permet également la construction et la validation d'algorithmes d'optimisation de la production des vecteurs chaleur et électricité sur les réseaux (micro et macro réseaux). Pour ce faire, le thème CSPG s'est organisé autour de quatre actions : (1) Récepteur solaire ; (2) Système, centrale solaire ; (3) Réseau ; (4) Intelligence artificielle qui constitue une action transverse.

## PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

La restructuration interne de l'unité en trois thématiques au lieu de huit équipes ne permet pas de prendre en compte ce point.

## EFFECTIFS DU THÈME : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2024

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	3
Maitres de conférences et assimilés	7
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	0
<b>Sous-total personnels permanents en activité</b>	<b>11</b>
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	2
Personnels non permanents d'appui à la recherche	2
Post-doctorants	3
Doctorants	14
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>21</b>
<b>Total personnels</b>	<b>32</b>

# ÉVALUATION

## Appréciation générale sur le thème

La thématique CSPG mène des activités de recherche d'excellent niveau, qui répondent à des enjeux sociétaux autour de l'énergie solaire, au moyen d'une approche multi-échelles (du phénomène à l'échelle système dans son environnement). Ces activités s'appuient sur des partenariats académiques, industriels et des acteurs du monde socio-économique nombreux et pertinents. CSPG bénéficie d'un environnement expérimental exceptionnel pour mener ses recherches dont certaines bénéficient d'un rayonnement international indéniable.

Le comité souligne la qualité exceptionnelle de la participation de la thématique CSPG à des projets européens.

Plusieurs membres de CSPG sont impliqués dans des instances nationales et européennes en lien avec l'énergie solaire, ce qui contribue à entretenir la notoriété de l'unité et la pertinence de ses thématiques.

## Points forts et possibilités liées au contexte

Grâce à ses installations, la thématique CSPG bénéficie d'une reconnaissance internationale indéniable. La production scientifique de CSPG est excellente avec 165 ACL au cours de la période (soit environ 5 ACL/ETP/an) dont la majorité dans les meilleures revues du domaine (J. Fluid Mech., Phys. Fluids, Int. J. Heat Mass Transfer, Phys. Rev. E., Energy, Sol. Energy, etc.). À cette production s'ajoutent 68 communications dans des conférences internationales (parmi lesquelles le World Congress on Momentum, Heat and Mass Transfer et l'International Symposium on Radiative Transfer), huit chapitres d'ouvrage et des actions de vulgarisation. Le comité note également la soutenance de quinze thèses au cours de la période (2,5/HDR).

Parmi les faits marquants, on peut mentionner la validation expérimentale d'un concept de récepteur solaire gaz-particules à lit fluidisé à l'échelle du MW. Ces travaux, réalisés dans le cadre de projets européens coordonnés par les membres de CSPG, ont donné lieu à de nombreuses publications, dont une dans un journal à fort impact (*Opportunities and Challenges in using Particle Circulation Loops for Concentrated Solar Power Applications*, Prog. Energy Combust. Sci., 2023). À une autre échelle, on peut également mentionner la production de données précises pour les récepteurs solaires, permettant de développer des corrélations adaptées aux conditions de chauffage dissymétrique et aux forts flux. Ces données ont été obtenues au moyen de simulations numériques directes et de simulations des grandes échelles thermiques. Ces travaux ont conduit à des publications dans des revues à fort impact (Phys. Fluids, 2019, ou encore Int. J. Heat Mass Transfer, 2021). Le comité souligne également le développement d'une approche d'optimisation stochastique des micro-réseaux avec systèmes de stockage d'énergie hybrides pour les services de flexibilité du réseau prenant en compte des incertitudes liées aux prévisions énergétiques (IEEE Trans. Power Systems, 2021).

Au cours de la période 2019-2024, la thématique CSPG a participé à de nombreux projets de recherche obtenus dans le cadre d'appels à projets compétitifs et elle en a porté plusieurs. On compte un contrat international hors Europe (projet SANDIA, porté par CSPG), huit contrats européens (4 portés par CSPG) dont cinq H2020 et deux Horizon Europe (NEXT-CSP, INSHIP, SOLPART, Powder2Power, etc.) et six contrats nationaux (3 portés par CSPG) dont quatre financés par l'ANR (OPTICLINE, MAEVA, SOLAIRE, SICSUN). Le montant des financements obtenus pour ces projets s'élève à 11,45 M€. Bien qu'une partie de ce chiffre couvre la période 2025-2027, l'activité contractuelle de la thématique est très significative et peut être considérée comme exceptionnelle. Le comité souligne la qualité exceptionnelle de la participation de la thématique CSPG à des projets européens.

La recherche portée par la thématique CSPG a une identité nationale et internationale reconnue sur l'énergie solaire attestée par le portage de projets d'envergure (décris ci-dessus), par la participation à des instances de pilotage (décris ci-dessous) et par des invitations pour des communications orales dans des conférences internationales (4).

Au plan national, des chercheurs de la thématique CSPG exercent des responsabilités dans des sociétés savantes (responsable d'un groupe thématique de la Société Française de Thermique, AFM), dans des GDR du CNRS (coanimation d'un axe du GDR Tamarys) et dans la fédération FEDESOL (responsabilité de l'axe solaire). Ils participent fortement aux instances d'évaluation de leur communauté. Un membre de CSPG est conseillère scientifique panel au Hcéres et deux membres de CSPG font partie de la section 62 du CNU. Ils participent également aux instances d'évaluation des appels à projets (ANR, GENCI).

Au plan international, les membres de CSPG participent à des instances internationales dans le domaine du solaire concentré. Un membre de CSPG est président de l'ExeCo (comité exécutif) de SolarPACES. Il est aussi représentant de PROMES dans l'EERA JP-CSP. Une personne a été membre du Conseil d'Administration de l'ERIC EU-Solaris. Un membre de CSPG fait partie d'un groupe de travail de l'Agence Internationale de l'Énergie.

Des distinctions montrant le positionnement fort et la reconnaissance de la thématique au sein de la communauté scientifique et du monde socio-économique ont également été obtenues au cours de la période : Femmes en Tête (Collège des sociétés savantes académiques de France), Prix Biot-Fourier (SFT), Femmes Formidables FCE (Femmes Chefs Entreprises).

La thématique entretient également des activités collaboratives en lien avec des acteurs du monde socio-économique et culturel. L'activité contractuelle dans le cadre de ces partenariats (4 contrats de collaboration de recherche, 1 dispositif Cifre, 4 maturations auprès de la SATT, 1 prestation) s'élève à 770 k€. Trois conventions de maturations (SMART AGRIPV, GHICAST, GHICAST II) concentrent une grande partie de ce montant avec 595 k€. On note aussi des contrats avec les collectivités territoriales (PV-STAR, NEXT-CSP REPERE) pour un total de 2 M€. La thématique a été à l'origine de la création de deux start-up (CSP Boost et SESA) au cours de la période. L'ensemble de ces éléments est remarquable compte tenu de la taille de la thématique (11 permanents).

## Points faibles et risques liés au contexte

La thématique CSPG mène des activités de recherches qui reposent sur un triptyque expérience/simulations numériques/théorie. Les activités expérimentales s'appuient sur des installations uniques qui nécessitent des personnels d'appui à la recherche avec des compétences spécifiques et parfois allouées aux dispositifs. La pyramide des âges et le renouvellement des personnels d'appui à la recherche constituent un risque fort pour les activités expérimentales de la thématique et la pérennisation des compétences expérimentales. Du côté des activités de simulations numériques, l'absence de personnel d'appui en calcul scientifique constitue un point faible.

La transition générationnelle des enseignants-chercheurs et chercheurs est entamée avec le départ prochain de cadres de la thématique. Cela constitue un risque de perte/diminution de la reconnaissance internationale de la thématique dans son périmètre d'activité. Elle risque également de voir ses indicateurs et ses ressources chuter avec ces départs.

Au 31/12/2024, seuls deux des sept MCF de la thématique sont titulaires d'une HDR. Ce faible nombre, notamment pour des chercheurs « séniors », limite les capacités d'encadrement doctoral de la thématique, ce qui peut avoir un impact sur la qualité de cet encadrement.

## ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DU THÈME

La trajectoire de la thématique CSPG pour les cinq prochaines années s'inscrit dans la continuité de ses travaux et concerne l'étude, le développement et l'optimisation des technologies solaires à concentration pour répondre aux enjeux énergétiques et environnementaux. La thématique CSPG s'organise en trois axes : (1) le développement de concepts innovants, notamment autour des centrales solaires à tour avec l'augmentation de la température de travail (1 000 °C) ; (2) l'optimisation des technologies à haut TRL, principalement les systèmes à concentration linéaire et les centrales photovoltaïques ; (3) la décarbonation de l'industrie avec le développement de solutions pour la production, le transport et le stockage de chaleur solaire haute température, comme le recyclage, la purification et le dessalement. L'utilisation de l'intelligence artificielle dirigée vers la prévision de la ressource solaire, le développement d'approches avancées de contrôle-commande et de maintenance est très appropriée et alignée avec le besoin d'optimiser la pénétration stable des ressources renouvelables au réseau (électrique et/ou de chaleur).

Cette trajectoire ambitieuse s'appuie sur des développements multi-échelles au moyen d'approches complémentaires théorie/modélisation, simulation numérique et expérience qui permettront une meilleure compréhension des phénomènes mis en jeu (interactions turbulence-rayonnement, vieillissement accéléré, transferts pariétaux en lien avec les régimes d'écoulement et les contraintes thermomécaniques, etc.) au niveau des composants ou du système complet. Elle s'appuie notamment sur les installations solaires uniques et exceptionnelles dont dispose PROMES et sur des projets en cours ou obtenus très récemment (financements PEPR, ANR et Europe) qui fédèrent les différents membres de la thématique. Les retombées attendues s'inscrivent dans les actions sociétales en lien avec la décarbonation de l'industrie. Cette trajectoire s'appuie également sur des collaborations entre les thématiques SCS et MEE et prévoit de bénéficier d'un accroissement des interactions avec les Sciences humaines et sociales.

Cette trajectoire apparaît ainsi pertinente. Elle est très ambitieuse et alignée sur les enjeux scientifiques et sociétaux actuels. Sa réussite repose en grande partie sur la capacité de la thématique à : (1) gérer la transition générationnelle qui va se produire dans les années à venir (pyramide des âges) ; (2) administrer les ressources

humaines pour aborder les projets en cours avec une forte charge expérimentale et maintenir un effort soutenu parmi la diversité des applications (et températures de travail) ciblées ; (3) assurer les ressources économiques à moyen terme, puisque le portefeuille de projets actuel correspond à un horizon de trois ans.

## RECOMMANDATIONS AU THÈME

La thématique CSPG bénéficie d'excellents indicateurs (publications, ressourcement, partenariat, etc.) qui attestent l'excellence de la recherche effectuée. Le comité recommande de maintenir ce niveau d'excellence indispensable à son rayonnement (notamment au plan international) et à son ressourcement.

Il apparaît crucial pour CSPG de poursuivre, en concertation avec la direction de l'unité (et les tutelles), sa réflexion sur le renouvellement (expérimental) et le renfort (calcul scientifique) des personnels d'appui à la recherche, indispensables pour ses activités.

Le comité encourage la thématique CSPG à poursuivre sa démarche de transition générationnelle.

Le comité encourage les chercheurs séniors à obtenir leur HDR.

**Thème 2 :**

Stockage et Chimie Solaire – SCS

Nom du responsable : M. Vincent Goetz

## THÉMATIQUES DU THÈME

Les activités du thème SCS s'inscrivent dans le champ des écotechnologies solaires, avec des applications couvrant un large spectre dans les domaines de l'eau et de l'énergie. Elles se déclinent en quatre actions de recherche, chacune répartie au sein d'une plage de température spécifique : (1) de 800 °C à 1 600 °C pour la production de combustibles de synthèse et la métallurgie solaire ; (2) de 50°C à 600 °C pour le stockage et la valorisation de la chaleur solaire et de la chaleur fatale ; (3) entre 50°C et 100 °C pour le développement de procédés de traitement de l'eau reposant sur l'énergie solaire ; (4) autour de la température ambiante pour le développement de l'électronique de puissance et des algorithmes de contrôles visant à intégrer les énergies renouvelables au réseau électrique.

## PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

La restructuration interne de l'unité en trois thématiques au lieu de huit équipes ne permet pas de prendre en compte ce point.

## EFFECTIFS DU THÈME : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2024

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	4
Maitres de conférences et assimilés	7
Directeurs de recherche et assimilés	3
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	1
<b>Sous-total personnels permanents en activité</b>	<b>16</b>
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels non permanents d'appui à la recherche	3
Post-doctorants	0
Doctorants	7
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>10</b>
<b>Total personnels</b>	<b>26</b>

## ÉVALUATION

### Appréciation générale sur le thème

La thématique SCS développe des activités de recherche, toutes articulées autour de la valorisation du rayonnement solaire, dans des domaines applicatifs variés et à fort enjeu sociétal (énergies et procédés décarbonés, procédés de dépollution). Les trois premières actions de recherche de SCS font preuve d'un remarquable dynamisme qui contribue au rayonnement international de l'unité. La qualité scientifique des travaux menés est illustrée par un taux élevé de publications dans des revues scientifiques de premier plan et les membres de la thématique se distinguent par l'obtention de nombreux contrats, notamment dans des appels à projets compétitifs (H2020, ANR). La quatrième action de recherche sur l'intégration des énergies renouvelables au réseau électrique apparaît nettement en retrait par rapport aux trois autres actions.

## Points forts et possibilités liées au contexte

Trois des quatre actions du thème - carburants solaires, stockage et polygénération, eau-énergie - présentent un dynamisme scientifique remarquable. Les résultats ont été publiés dans les meilleures revues des domaines de l'énergie (Energy, Energy Convers. Manage., J. Energy Storage, Int. J. Hydrogen Energy, etc.), du contrôle et de l'optimisation (J. Optim. Theory Appl., SIAM J. Optim., Set-Valued Var. Anal., etc.), ainsi que du génie des procédés et de l'environnement (Chem. Eng. J., Chem. Eng. Sci., J. Clean. Prod., etc.), illustrant la diversité des disciplines couvertes. Un tiers des articles ont été publiés dans les dix revues citées précédemment, sur un total de plus de 90 revues différentes. Le taux de publication est d'environ quatre ACL/ETP/an sur la base des huit ETP impliqués dans ces trois actions (184 ACL). On peut également noter la rédaction d'un ouvrage aux Presses du CNRS et de neuf chapitres d'ouvrage (dont sept en anglais). À cette production s'ajoutent 89 communications dans des conférences internationales.

La thématique SCS est fortement impliquée dans la formation doctorale, avec 31 thèses soutenues au cours de la période (3,1/HDR), ainsi que six thèses en cours. Ces travaux doctoraux ont généralement donné lieu à des publications. Une doctorante a obtenu le prix de thèse du collège doctoral Languedoc-Roussillon.

Durant la période, treize dispositifs expérimentaux ont été réalisés, couvrant les quatre actions de la thématique. Ces dispositifs ont conduit à plusieurs résultats originaux. Par exemple, la faisabilité expérimentale de l'hybridation d'un réacteur solaire de gazéification (fonctionnant en modes allotherme et autotherme) constitue un résultat pionnier pour le fonctionnement en continu des procédés solaires à haute température (Chem. Eng. J., 2023). À plus basse température, plusieurs architectures originales d'hybridation de procédés thermochimiques (intégrant des compresseurs mécaniques ou des machines de détente) ont été proposées et étudiées (Energy Convers. Manage., 2022). Dans le domaine des photo-réacteurs pour le traitement de l'eau, la modélisation du transfert radiatif dans des milieux hétérogènes liquide/solide, constitués de particules, a été appliquée à différentes configurations de photo-réacteurs d'oxydation avancée, constituant une avancée dans ces configurations communes du génie des procédés (AIChE J., 2024).

Les travaux de la thématique sont soutenus par de nombreux contrats (montant total de 4,1 M€) au niveau international (3 PHC), européen (2 projets H2020), national (8 projets financés par l'ANR, dont 3 portés par la thématique, 3 projets du PIA dans le cadre des PEPR TASE et DIADEM, 2 projets MITI, etc.) et régional (8 contrats doctoraux). Le comité note également trois collaborations directes avec des industriels (IHI Corporation, ENGIE, La Compagnie du Vent) pour des contrats de 40 k€ en moyenne, un dispositif Cifre avec Total (254 k€), et deux contrats de collaboration avec le CNES et le CEA. Ces financements témoignent de la reconnaissance des membres de la thématique sur la scène scientifique nationale et internationale.

Plusieurs membres de SCS sont également impliqués dans le dépôt de quatre brevets (procédé de production de H<sub>2</sub> et de CO, stockage de chaleur, traitement de l'eau, réfrigération) et deux conventions de maturation portant sur le dessalement et la désinfection, qui n'ont finalement pas abouti à un transfert ou à la création d'une entreprise.

Au cours de la période d'évaluation, la thématique a accueilli vingt chercheurs étrangers pour des séjours allant d'une semaine à un an, et trois membres de la thématique ont été invités dans quatorze universités étrangères (University of New South Wales en Australie, University degli studi of Brescia en Italie, etc.). On note également onze communications sur invitation dans des conférences internationales. De manière générale, les relations internationales sont très diversifiées et couvrent l'ensemble des continents. Au cours de la période, elles ont donné lieu à une vingtaine de publications communes et à six co-encadrements de thèse. Un membre de SCS a été organisateur de la conférence internationale 9<sup>th</sup> French-Chilean Meeting of Optimization (2022) et co-organisateur du workshop Variational Analysis and Application to the Modelling of Energy Exchanges (2022). Quatre autres membres ont fait partie de comités d'organisation de conférences internationales (European Hydrogen Energy Conference en 2022 et 2024, International Conference on Energy in Africa, 2024, etc.).

Les membres de SCS se sont fortement impliqués dans diverses instances aux niveaux local (présidence de l'UPVD, direction de Sup'ENR, directeur d'UFR, responsables de licence, etc.), national (membres des sections 61 et 62 du CNU, CA SFGP, etc.) et international (représentant de PROMES à l'EERA, représentant de la France pour le Task II de SolarPACES, etc.). Ils s'impliquent également dans l'animation de leur communauté (membre du CA de la société française de génie des procédés ; responsable d'un axe dans la fédération CNRS FEDESOL) et participent à des instances d'évaluation de la recherche (membre de comités d'évaluation du Hcéres, expert panel H2020).

## Points faibles et risques liés au contexte

Deux départs à la retraite, à court terme (2025–2027), vont affecter la thématique SCS, en particulier l'action « stockage et polygénération », ce qui constitue un point de vigilance.

Depuis mai 2021, l'unité est structurée en trois grandes thématiques, ce qui se traduit, pour la thématique SCS, par un large spectre d'expertises ayant conduit à l'élaboration de quatre actions spécifiques. Malgré la mise en évidence d'enjeux scientifiques et technologiques communs autour de la valorisation de l'énergie solaire, cette diversité d'expertises ne facilite pas les collaborations au sein du groupe.

La thématique a obtenu sept contrats industriels au cours de la période d'évaluation. Néanmoins, la prochaine période débute avec un seul contrat industriel avec le CNES (75 k€), ce qui peut être perçu comme une fragilité du thème. La faiblesse du nombre de dispositifs Cifre confirme ce constat, avec seulement deux thèses soutenues (TOTAL et ELLO) au cours de la période et aucune en cours. Une diminution récente de l'encadrement doctoral (6 thèses en cours) constitue également un point de vigilance qui peut s'expliquer par un contexte local et régional moins favorable pour l'obtention de contrats doctoraux.

La quatrième action, portée par six des seize membres du thème (dont un MCF recruté en 2023), est très en retrait en matière de production scientifique au cours de la période. Les activités de recherche de cette action concernent l'identification et la détection de défauts des installations PV en partenariat avec ENGIE, la modélisation et l'optimisation de micro-réseaux électriques avec une application à un port de plaisance, ainsi que le développement de structures de conversion électrique, en particulier les structures Multi Active-Bridge (MAB). L'activité a été soutenue par plusieurs contrats (Interreg 115 k€, PEPR TASE 158 k€, trois contrats industriels 93 k€, FEDER 137 k€, et une allocation doctorale de la région), mais ces différents projets n'ont donné lieu à aucune publication dans des journaux internationaux à comité de lecture au cours de la période. La valorisation des activités de la thématique comprend seulement deux articles dans la revue française J3eA (Journal sur l'enseignement des sciences et technologies de l'information et des systèmes) et sept communications dans des congrès (dont 4 internationaux). L'action ne comporte qu'un seul membre titulaire d'une HDR et aucun PR ou DR, ce qui contraste avec les trois autres actions de la thématique et explique en partie le faible nombre de thèses encadrées. En effet, au cours de la période, une seule thèse a été soutenue tandis qu'une deuxième est en cours.

## ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DU THÈME

La trajectoire présentée par le thème est bien étayée et s'inscrit dans des domaines à forte portée stratégique, en lien avec l'énergie et l'environnement. Elle possède un ancrage fort dans les thématiques des formations universitaires du site. Pour les quatre actions du thème, il s'agit de poursuivre les développements actuels, sans rupture majeure par rapport à l'existant, mais avec des perspectives encore prometteuses. L'ensemble s'appuie sur un savoir-faire reconnu, de nombreuses collaborations nationales et internationales, ainsi que sur plusieurs projets nationaux et internationaux.

Pour l'action « carburants solaires », les travaux consacrés à la conversion de la matière par énergie solaire concentrée resteront guidés par l'objectif de déployer des procédés solaires hybrides capables de fonctionner en continu, ce qui est un enjeu majeur pour ce type d'applications. Ces activités sont déjà engagées dans le cadre de trois projets financés par l'ANR (Membrasol, Multithermo, Metasol), un projet européen (Horizon Circular fuels), des collaborations avec THALES et le CNES. Ces activités s'intègrent très bien dans les objectifs du PEPR SPLEEN, ce qui permettrait également d'abonder ces actions.

Concernant l'action « stockage et polygénération », l'enjeu est de poursuivre l'étude de l'hybridation de différents cycles afin d'atteindre des preuves de concept, ce qui nécessite de combiner une analyse thermodynamique approfondie avec le développement parallèle de technologies adaptées. Ces activités pourront se développer notamment grâce au nouveau projet CALIFORCE, financé par l'ANR. Les recherches sur le stockage continueront d'explorer des solutions à haute température comme à température ambiante avec de nouvelles options en s'appuyant notamment sur le projet SOLPHOTOCAT financé par l'ANR et sur le nouveau projet ALEUTIAN du PEPR DIADEM. Enfin, les travaux sur le management énergétique se poursuivront à la fois par des investigations expérimentales et par l'emploi de méthodes mathématiques d'optimisation. Ces travaux bénéficient déjà d'un financement Ademe et d'autres sources de financement sont recherchées à travers notamment le PEPR risque.

Pour l'action « eau-énergie », les travaux consacrés à la modélisation des photo-réacteurs utilisés pour le traitement de l'eau par oxydation avancée se poursuivront, avec pour objectif de mieux comprendre les phénomènes de couplage propres aux matériaux multifonctionnels en vue de leur conception. Les efforts porteront également sur la poursuite du développement de prototypes opérant en conditions réelles, c'est-à-dire en extérieur sous rayonnement solaire naturel et avec des effluents authentiques. Comme pour les deux premières actions, les activités sont déjà en partie engagées, notamment à travers le projet SACRE financé par l'ANR, un projet Interreg, un projet financé par la région, mais aussi des collaborations internationales (Fonds de solidarité pour les projets innovants France-Equateur, PHC Toubkal, PHC UTIQUE).

Concernant l'action « systèmes de conversion de flux d'énergies d'origine solaire pour une intégration au réseau électrique », les travaux viseront à poursuivre le développement du convertisseur Multi-Active-Bridge en passant

à une nouvelle échelle de puissance afin d'atteindre plusieurs dizaines de kilowatts. Un second axe consistera à approfondir les recherches sur la détection de défauts dans les systèmes photovoltaïques, en mobilisant l'intelligence artificielle dans la perspective d'un diagnostic local, en temps réel, du bon fonctionnement des installations. Deux projets (HyMES et DC-ARCHITECT) dans le cadre du PEPR TASE permettent déjà de financer ces activités.

Au-delà de chacune des trajectoires visées pour les quatre actions de recherche du thème, un objectif général de renforcement de la cohésion est évoqué, en particulier à travers le montage d'un possible projet monoéquipe qui serait financé par l'ANR, fédérant les différentes activités du groupe. Un tel projet pourrait permettre notamment de dynamiser la quatrième action. Cependant, ce projet n'était pas soumis à l'ANR lors de la visite sur site.

## RECOMMANDATIONS AU THÈME

La thématique SCS présente une excellente dynamique scientifique concernant les trois premières actions, dynamique qu'il serait souhaitable de maintenir pour la prochaine période d'évaluation. En particulier, le remplacement des deux départs à la retraite dans l'action « stockage et polygénération » constitue un point de vigilance important pour préserver cette dynamique. Une réflexion sur le profil des futurs recrutements pourrait être pertinente afin de renforcer les actions jugées prioritaires.

La restructuration de l'unité se traduit, pour la thématique SCS, par un large spectre d'expertises. Une réflexion pourrait éventuellement être menée dans le but de recentrer un champ d'investigation qui pourrait être considéré comme trop vaste au regard des forces en présence.

Le comité recommande à la thématique d'accroître ses relations avec le monde industriel avec des contrats directs ou sous forme de projets ANR PRCE, et d'accroître le nombre de dispositifs Cifre de manière à compenser la diminution des contrats doctoraux

Pour la quatrième action du thème, il est recommandé de mieux valoriser les résultats obtenus sous la forme de publications dans des revues internationales à comité de lecture. Il serait utile d'engager une réflexion sur les orientations scientifiques de cette action afin qu'elles se dirigent vers des sujets plus propices à une valorisation sous forme de publications originales. Elle pourrait notamment s'appuyer sur l'expertise générale du thème pour développer des activités de recherche innovantes. L'arrivée récente d'un nouveau maître de conférences peut constituer un levier de renouveau, mais il conviendra de lui offrir les moyens nécessaires pour démarrer son activité, notamment par le co-encadrement de doctorants. Par ailleurs, cette action gagnerait également à s'appuyer sur une implication accrue de certains chercheurs actuellement moins mobilisés, ce qui renforcerait son dynamisme.

**Thème 3 :**

Matériaux pour l'Énergie et l'Espace – MEE

Nom du responsable : M. François Vernay

## THÉMATIQUES DU THÈME

La thématique MEE vise à synthétiser, déterminer et comprendre les propriétés des matériaux pour la conversion ou le transport d'énergie, ou pour des applications spatiales. Les matériaux intéressants MEE sont multifonctionnels, avec des propriétés optiques, électroniques ou thermomécaniques ciblées. On note une forte implication dans le domaine de la synthèse par voie plasma, ainsi que des activités importantes dans le domaine de la simulation visant à décrire les (nano-)matériaux dans leur ensemble (assemblage nanoparticules et synthèse multicouche).

## PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

La fusion des équipes en 2021 qui a mené à MEE rend inadéquate une analyse relative aux recommandations du rapport précédent.

## EFFECTIFS DU THÈME : EN PERSONNES PHYSIQUES AU 31/12/2024

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	4
Maitres de conférences et assimilés	8
Directeurs de recherche et assimilés	2
Chargés de recherche et assimilés	3
Personnels d'appui à la recherche	1
<b>Sous-total personnels permanents en activité</b>	<b>18</b>
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	2
Personnels non permanents d'appui à la recherche	1
Post-doctorants	1
Doctorants	9
<b>Sous-total personnels non permanents en activité</b>	<b>13</b>
<b>Total personnels</b>	<b>31</b>

## ÉVALUATION

### Appréciation générale sur le thème

La thématique MEE est dynamique et a parfaitement assumé la fusion dont elle est née. Recrutement, publications, dissémination, encadrements de thèses et portages de projets montrent tous une activité de premier plan. L'ensemble de l'activité est donc excellent au cours de la période d'évaluation. Des choix stratégiques pertinents ont été faits suite aux multiples départs de leaders ce qui recentre ses activités sur un sous-ensemble des axes antérieurs à la fusion, évitant ainsi la dispersion de forces. L'avenir semble un peu plus complexe pour l'action matériaux en conditions extrêmes avec le départ du leader. Cependant, la volonté affichée de consolider cette action qui s'appuie sur les instrumentations d'exception de PROMES est un excellent choix stratégique.

## Points forts et possibilités liées au contexte

Avec dix-huit personnels permanents au cours de la période d'évaluation (12 EC, 5 C, 1 PAR), la thématique MEE possède une forte dynamique de recherche localisée aux 2/3 sur le site de Perpignan et à 1/3 sur le site d'Odeillo. La production scientifique est bonne avec 122 ACL au cours de la période, soit une moyenne de 1,9 ACL/ETP/an. La valorisation se fait dans un large panel de revues dont la majorité sont spécialisées et impactantes dans leur communauté (Sci. Rep., Phys. Rev. B, J. Appl. Phys., Plasma Chem. Plasma Process.). À cette production s'ajoutent 58 communications dans des conférences internationales.

La valorisation dans les ouvrages est importante : trois ouvrages et neuf chapitres d'ouvrage lors de la période, ce qui montre une excellente reconnaissance de la communauté. Ceci est aussi visible sur les vingt conférences invitées, soit environ 20 % des communications orales du thème et les quatre longs séjours de professeurs étrangers qui démontrent l'attractivité de la thématique. Les activités de MEE ont été renforcées par la présence de dix CDD et 23 doctorants dont quinze recrutés au cours de la période, ce qui représente un très bon taux d'encadrement de treize thèses (dont deux dispositifs Cifre) pour huit HDR.

Les avancées scientifiques majeures au cours de la période ont trait aux mécanismes de corrosion en conditions extrêmes et au dépôt plasma. La thématique est reconnue sur l'étude des mécanismes d'oxydation à haute température des matériaux de protection des vaisseaux spatiaux lors de rentrées atmosphériques. Les travaux sur les composites à base de diborures et siliciures ( $TaSi_2$ ) pour les boucliers thermiques ont permis d'étudier finement les mécanismes d'oxydation jusqu'à 2600 K (Ceram. Int., 2022). De même, la thématique contribue de manière significative à la réalisation des couches minces optiquement sélectives pour des récepteurs solaires et la synthèse de couches nanocomposites. Elle a ainsi mis au point des couches sélectives pour récepteurs solaires à haute performance par pulvérisation réactive d'une cible de tungstène dans un plasma basse pression (Surf. Coat. Technol., 2023). Une très grande expertise est démontrée dans le domaine de la synthèse, la caractérisation et la modélisation, dans un travail hautement collaboratif où MEE prend souvent en charge de manière complète l'aspect de la synthèse et de son optimisation. Ses travaux en conditions extrêmes sont quasi uniques au monde et souvent aucune donnée n'existe dans la littérature à des températures aussi élevées que celles atteintes dans ces études.

Absente des contrats européens, MEE est très bien présente sur les outils de financement nationaux avec huit contrats financés par l'ANR dont quatre en qualité de porteur, et le projet DROID financé par le PIA en tant que porteur. Le niveau de contrats industriels est très bon, et sur les huit comptabilisés lors de la période, six sont directement portés par MEE. Quatre projets financés par la région Occitanie et huit contrats internationaux complètent cette très bonne dynamique partenariale, pour un budget global de 3 M€.

Les membres de MEE s'impliquent dans des responsabilités administratives et dans l'animation de la communauté scientifique au niveau local, national et international. Au niveau local un membre de MEE assure la direction de la Fédération de Recherche « Énergie-Environnement » et plusieurs membres de MEE ont des responsables pédagogiques (deux directeurs de départements d'IUT, un directeur de département à l'UPVD, etc.). Au plan national, les membres de MEE s'impliquent dans les GDR du CNRS (membre du conseil scientifique du GDR TAMARYS, participation aux GD Or-Nano et NINO) et un membre a assuré la direction adjointe de la fédération CNRS FEDESOL. Au plan international, on note la codirection de deux IRN du CNRS (International Research Network) : l'IRN SINERGIE qui réunit PROMES, la Nanyang Technological University et ENGIE Lab à Singapour ainsi que 28 autres unités rattachées au CNRS ou au CEA ; l'IRN NMC qui rassemble PROMES, l'Université de Montréal, l'INRS Canadien (Institut National de la Recherche Scientifique), l'École Polytechnique de Montréal et 27 unités du CNRS). La thématique a également organisé le doctoral colloquium d'EU-Solaris.

Les membres de MEE se sont également fortement impliqués dans les instances de pilotage ou d'évaluation de la recherche au cours de la période (présidence de la section 10 du CoNRS, membre de la CID 50 du CoNRS, membre de commission d'évaluation de l'ANR).

Au niveau des activités de recherche dans la société, la thématique est relativement active dans le dépôt des brevets (quatre au cours de la période, dont un au niveau mondial et un au niveau européen). Elle a obtenu des contrats avec des entreprises majeures de l'aéronautique et le spatial (Airbus, Ariane Group, CNES, Thales Alenia Space) et un dispositif Cifre avec Aurea Technology. La thématique est aussi active dans les actions de dissémination de la culture scientifique, avec la coordination départementale de la Fête de la Science pour les Pyrénées-Orientales ou encore des conférences grand public locales (université du temps libre, etc.).

## Points faibles et risques liés au contexte

La thématique MEE dispose d'un bon taux d'encadrement avec huit HDR, et la dynamique est excellente. Elle ne compense cependant pas complètement le départ de trois permanents HDR en matière d'expérience d'encadrement. Ce déficit d'encadrement peut handicaper le développement et même la fragilisation de certaines actions de recherche. C'est notamment le cas pour l'action sur les matériaux pour l'aérospatial avec

le départ du responsable. Un risque de dispersion thématique existe, ainsi qu'une fragilisation de l'action sur le comportement des matériaux en conditions extrêmes, qui est un élément essentiel de la reconnaissance internationale de la thématique.

La thématique MEE est passée de cinq actions prioritaires à trois. Cette réorganisation était nécessaire pour favoriser les interactions entre les chercheurs et enseignants-chercheurs. Malgré cela, la grande variété de sujets traités (synthèse de matériaux par plasma, nanomatériaux et propriétés en conditions extrêmes, matériaux pour l'aérospatial, modélisation, systèmes énergétiques, stockage de l'énergie) rend l'exercice difficile.

La thématique MEE a été peu impliquée au cours de la période dans l'organisation de congrès. D'autre part, le départ à la retraite de l'un de ses membres, très présent dans les instances nationales, peut conduire, à terme, à un manque de visibilité de la thématique.

La thématique MEE a été riche en collaborations internationales pendant la période d'évaluation. Mais ces collaborations sont portées par des personnels proches de la retraite, ce qui risque d'être pénalisant dans les années à venir.

## ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DU THÈME

MEE est un thème « jeune », formé au début de l'année 2021, et qui prend sa source dans trois équipes qui ont fusionné. Les activités concernant la synthèse par voie plasma et la caractérisation de couches minces dans un contexte photovoltaïque possèdent une indéniable dynamique, qui porte l'activité de MEE jusqu'à aujourd'hui et oriente nombre de ses choix pour le futur. Il en va de même pour les études portant sur les nanomatériaux. Les applications solaires visées se baseront sur une sélectivité spectrale bénéfique à la conversion thermique et/ou électrique directe. Les travaux mettent en œuvre les dépôts par plasmas froids et les caractérisations thermo-optiques, avec des études de vieillissement accéléré sous irradiation solaire concentrée et sous humidité contrôlée. L'inclusion de nanoparticules métalliques possédant des propriétés plasmoniques dans des matrices sera aussi étudiée. Ces actions ont été très récemment renforcées par deux recrutements. Cette trajectoire s'inscrit bien dans les grands défis de conception de matériaux « éco-énergétiques et sûrs » pour le futur.

Le troisième volet initialement consacré à la réactivité chimique et la mesure des propriétés thermoradiatives en conditions extrêmes a, sur certains aspects, été central au cours de la période. Les études des phénomènes d'oxydation et de vieillissement en conditions extrêmes sont remarquables et PROMES est une des rares unités capables de réaliser des tests pertinents avec des montées en température rapides et des mesures d'émissivité haute température, constituant des données indispensables pour la recherche dans le domaine de l'aérospatial. Des choix stratégiques devront être faits pour pérenniser cette activité, et les propositions affichées par la direction de recrutement dans ce domaine sont particulièrement pertinentes.

La synthèse de matériaux par voie solaire quant à elle semble avoir disparu des activités au cours de la période d'évaluation. MEE affiche sa volonté de reprendre les études dans le domaine, ce qui ne peut que l'amener à redevenir un des acteurs incontournables, grâce aux capacités instrumentales exceptionnelles de PROMES.

Les choix stratégiques sont d'autant plus prégnants que plusieurs leaders sont partis ou vont partir à la retraite. Il ne serait pas étonnant dans ce contexte de voir les activités de MEE fléchir à court terme, mais la dynamique actuelle de la thématique permet d'être confiant à moyen terme.

## RECOMMANDATIONS AU THÈME

Le comité recommande de renforcer le taux d'encadrement par le passage de l'HDR par les membres de la thématique.

La volonté affichée de recrutement dans le domaine « historique » des matériaux pour l'aérospatial se place dans un contexte national extrêmement tendu en ce qui concerne les chercheurs / enseignants-chercheurs et le recours à un ingénieur de recherche pourrait être envisagé. Cela suppose que le poste possède une forte coloration technique telle que de l'instrumentation sur le four solaire, mais cela est parfaitement en cohérence avec les activités à Odeillo.

Trouver une cohérence d'ensemble et des axes transverses est un défi évident auquel MEE se doit de répondre. Renforcer toutes les actions de recherches en même temps est impossible dans le contexte de recrutement actuel. Des choix organisationnels et stratégiques sont donc inévitables. Compte tenu du départ de plusieurs leaders, dans différents thèmes, il pourrait être envisagé de repenser le fonctionnement et les objectifs de MEE à moyen terme, en conservant une partie des activités adossées aux moyens exceptionnels de chauffage par rayonnement solaire concentré d'Odeillo. D'autres thématiques que les matériaux pour l'aérospatial pourraient

aussi être envisagées. Historiquement très forte, cette activité souffre maintenant du départ du leader qui la portait. Le profil de potentiels candidats pourrait être élargi, par exemple, aux matériaux pour le stockage de la chaleur, créant ainsi une nouvelle activité transversale entre les deux sites, ou d'une manière plus générale élargi au comportement de matériaux en conditions extrêmes.

Le comité recommande de maintenir la présence des membres de la thématique dans les instances nationales comme c'était le cas jusqu'à présent.

Le comité encourage la thématique à conserver sa dynamique en matière de collaborations internationales malgré les départs en retraite prévus, par exemple, à travers des participations à des comités de pilotage de projets européens, l'organisation de congrès internationaux, etc.

# DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

## DATES

**Début :** 17 novembre 2025 à 8h30

**Fin :** 19 novembre 2025 à 14h30

### Entretiens réalisés en présentiel

## PROGRAMME DES ENTRETIENS

Lundi 17 novembre 2025 - Tecnosud Rambla de la Thermodynamique, 66100 Perpignan

08h30-08h50	Accueil du comité
08h50-09h00	Introduction de la visite par le conseiller scientifique – P.A. Santoni
09h00-10h00	Présentation du bilan par la directrice de l'unité et discussion (30 min de présentation + 30 min de discussion) – F. Massines
10h00-10h30	Pause-café
10h30-11h20	Exposé scientifique de l'axe Matériaux pour l'Énergie et l'Espace : bilan et trajectoire (25 min de présentation + 25 min discussion) – F. Vernay
11h20-12h10	Exposé scientifique de l'axe Stockage et Chimie Solaire : bilan et trajectoire (25 min de présentation + 25 min de discussion) – V. Goetz
12h10-13h30	Réunion à huis clos des membres du comité et repas
13h30-15h30	Créneau science – visite du site de Perpignan (3 thématiques)
15h30-16h00	Pause-café
16h00-16h30	Rencontre avec les doctorants, post-doctorants et CDD PAR des 2 sites
16h30-17h00	Rencontre avec les personnels chercheurs et enseignants-chercheurs des 2 sites
17h00-17h45	Réunion à huis clos des membres du comité

Mardi 18 novembre 2025 - Font Romeu Odeillo 7, rue du Four Solaire, 66120

08h15-08h30	Accueil du comité
08h30-09h20	Exposé scientifique de l'axe Centrale Solaire de Prochaine Génération : bilan et trajectoire (25 min de présentation + 25 min de discussion) – A. Toutant
09h20-10h30	Créneau science – visite du site d'Odeillo : 8 <sup>ème</sup> , 6 <sup>ème</sup> , 3 <sup>ème</sup> et 2 <sup>ème</sup> étage (3 thématiques)
10h30-11h00	Pause-café
11h00-12h00	Créneau science – visite du site d'Odeillo : grand four solaire, expo, extérieur (3 thématiques)
12h00-13h40	Déjeuner : restaurant puis dessert et café dans le hall avec session posters
13h45-14h15	Présentation par la direction future de la trajectoire de l'unité incluant les perspectives (15 min de présentation + 15 min de discussion) – F. Vernay
14h15-14h45	Rencontre avec les personnels d'appui à la recherche sans les responsables de services : personnels administratifs et techniques
14h45-15h15	Réunion avec les responsables des thématiques et des services
15h15-15h30	Transport à Thémis
15h30-16h30	Créneau science : visite du site de Thémis
16h30-17h30	Réunion à huis clos des membres du comité

Mercredi 19 novembre 2025 - Tecnosud Rambla de la Thermodynamique, 66100 Perpignan

08h45-09h00	Accueil du comité
09h00-09h15	Réunion à huis clos des membres du comité
09h15-10h00	Rencontre avec les représentants des tutelles
10h00-10h30	Réunion avec la direction actuelle et la direction future de l'unité
10h30-12h30	Réunion à huis clos des membres du comité
12h30-13h30	Déjeuner
13h30-14h30	Suite de la réunion à huis clos des membres du comité

## POINTS PARTICULIERS À MENTIONNER

Le comité remercie l'unité pour l'accueil remarquable et l'organisation des visites très illustratives des installations de l'ensemble de l'unité.

## OBSERVATIONS GÉNÉRALES DES TUTELLES

Perpignan, le 10 février 2026

Madame Samira EL YACOUBI  
Vice-Présidente en charge de la Recherche de l'Université de  
Perpignan Via Domitia

A

Messieurs les Membres du comité d'experts  
Monsieur le Conseiller scientifique du HCERES

**Objet : Retour des observations des tutelles sur le rapport d'évaluation :  
DER-PUR270025700 – PROMES**

Messieurs les Membres du comité d'experts,  
Monsieur le Conseiller scientifique du HCERES,

Nous avons pris connaissance avec attention du rapport d'évaluation de l'UPR PROMES. En ma qualité de représentante de la tutelle déposante de l'unité, je tiens à remercier les membres du comité pour la qualité du travail d'expertise mené, ainsi que pour la clarté et la richesse des analyses présentées dans ce rapport.

Vous trouverez ci-après les observations de portée générale formulées par l'Université de Perpignan Via Domitia, suivies de celles de la Direction du laboratoire PROMES. Par ailleurs, je confirme que le CNRS n'a pas exprimé d'observations de portée générale.

L'UPVD tient à souligner qu'elle partage très largement les analyses et appréciations formulées par le comité d'évaluation concernant l'unité PROMES. Elle s'associe pleinement au constat d'une unité de rang international, disposant d'infrastructures de recherche remarquables, d'une production scientifique de très haut niveau et d'un rayonnement académique, socio-économique et sociétal notable. Les recommandations émises par le comité constituent, pour l'établissement comme pour l'unité, des points d'appui pertinents pour la poursuite et la consolidation de cette trajectoire d'excellence.

Dans ce cadre, l'UPVD souhaite préciser la nature et l'ampleur de son engagement auprès de PROMES, en termes de dotations, de locaux et de ressources humaines. Cet engagement se traduit notamment par la mobilisation de 33 enseignants-chercheurs fortement impliqués dans les activités scientifiques de l'unité, le recrutement de cinq maîtres de conférences et d'un professeur des universités sur la période et le recrutement par l'UPVD d'un agent BIATSS, intervenu à la suite d'un désengagement du CNRS sur ce poste. Ce qui constitue un signal fort du soutien de l'établissement à cette UPR et de sa volonté d'en assurer le bon fonctionnement

**Université de Perpignan Via Domitia**

**Vice-présidence Recherche**

52 avenue Paul Alduy  
66860 PERPIGNAN Cedex 9  
04-30-19-23-44  
vp-cs@univ-perp.fr

  
**univ-perp.fr**

et la pérennité. Les enseignants-chercheurs de PROMES jouent un rôle central dans le portage de projets européens, ANR et industriels, majoritairement gérés par le CNRS.

L'engagement de l'UPVD en faveur de PROMES se traduit également par des investissements structurants, notamment à travers la mise en place de la ZRR à TechnoSud et son implication dans le projet du futur bâtiment de l'école d'ingénieurs Sup-EnR, qui accueillera des équipements de recherche mutualisés au bénéfice des enseignants-chercheurs de l'UPVD et des chercheurs CNRS. L'ouverture au concours cette année d'un poste de professeur des universités à PROMES illustre par ailleurs l'attention particulière portée par l'établissement à cette unité.

S'agissant de la politique doctorale, l'UPVD rappelle que PROMES bénéficie annuellement de contrats doctoraux attribués par l'École doctorale 305, dans un contexte global de tension sur les financements doctoraux.

Enfin, l'UPVD souligne que le site d'Odeillo, propriété du CNRS et prioritairement dédié à la recherche, présente des contraintes structurelles fortes qui limitent le déploiement de formations universitaires et l'installation durable d'enseignants-chercheurs. L'établissement est par ailleurs attentif à l'intégration des doctorants du site d'Odeillo à la vie universitaire, notamment à travers les activités de formation et les événements sportifs proposés par l'UFR STAPS de Font-Romeu.

Je vous prie d'agrérer, Messieurs les Membres du comité d'experts, Monsieur le Conseiller scientifique du HCERES, l'expression de ma parfaite considération.

Samira EL YACOUBI





**François Vernay**  
Directeur du Laboratoire PROMES (UPR 8521)  
7, rue du Four Solaire  
66120 Font-Romeu Odeillo  
[francois.vernay@promes.cnrs.fr](mailto:francois.vernay@promes.cnrs.fr)

**Objet :** commentaires sur la rapport HCERES du laboratoire PROMES

**Référence :** DER-PUR270025700 - PROMES - Laboratoire procédés matériaux et énergie solaire

Madame, Monsieur,

Nous remercions les membres du comité HCERES pour le travail qu'ils ont accompli lors de l'évaluation du laboratoire et pour le rapport qui en émane. Les points soulevés sont pertinents et nous prenons la mesure des recommandations formulées, certaines étant déjà suivies.

Par la présente, nous souhaitons apporter quelques éléments de portée générale sur le rapport d'évaluation. Le comité a en effet identifié un certain nombre de points d'attention et nous voulons préciser les stratégies mises en place ou en cours pour y répondre.

- **Domaine 1 : objectifs scientifiques, organisation et ressources de l'Unité**

Le comité souligne la pyramide des âges déséquilibrée du laboratoire, avec des départs de cadres et la transition générationnelle qui doit être assurée. Cette remarque entre en résonance avec des inquiétudes du comité quant à la cohésion et au sentiment d'appartenance au laboratoire, eu égard à la diversité des personnels et à la présence sur deux sites.

Les équipes de direction successives du laboratoire sont très conscientes de ces risques et ont commencé à agir pour en prévenir les effets. Ainsi, une stratégie d'échelonnement des recrutements sur plusieurs années a été réfléchie, discutée au sein des conseils, et sera ajustée en fonction de la conjoncture ; le financement sur ressources propres d'un post-doc en vue de faciliter la préparation de concours CR pour intégrer le laboratoire a été mis en place et sera poursuivi.

Par ailleurs, les actions visant à favoriser la cohésion au sein du laboratoire sont déjà actives : outre les séminaires réguliers organisés par la « Cellule d'Animation Scientifique et Communication Interne » (CASICI), nous pouvons citer les Journées des doctorants (JDOCS), les actions incitatives (Aires), ainsi que les diverses cellules d'initiatives telle celle traitant de la QVCT.

- **Domaine 2 : résultats, rayonnement et attractivité scientifiques de l'Unité**

Le rythme de publication est noté comme hétérogène au sein du laboratoire, suite à des départs à la retraite. Nous redéployons actuellement certaines actions de recherche afin de redynamiser ces domaines sur lesquels le laboratoire reste actif. Par ailleurs, tout comme l'HCERES, signataire de la Déclaration de San Francisco sur l'évaluation de la recherche en 2021, nous sommes très conscients que les critères bibliométriques peuvent souffrir de biais.

Le comité indique un marché du solaire à concentration moins compétitif, rendant le montage de projets plus ardu. Il s'agit d'une assertion seulement en partie vraie, dans la mesure où, à titre d'exemple, il existe un réel intérêt pour la chaleur haute température, notamment pour la décarbonation de certaines activités industrielles.

- **Domaine 3 : inscription des activités de recherche dans la société**

La part des contrats industriels semble un peu faible, selon le comité, qui pointe l'importance de diversifier les sources de financements afin de stabiliser certaines activités. A cet égard, le laboratoire a été sollicité récemment pour intégrer un Carnot thématique sur les matériaux en conditions extrêmes ; il s'agira d'un dispositif qui permettra de nouer de nouveaux contacts industriels et donc d'intensifier ces relations. De plus, une réflexion est en cours pour utiliser des structures du type Laboratoire Commun pour pérenniser des partenariats existants.

Nous vous prions de bien vouloir agréer, Madame, Monsieur, nos meilleures salutations,

François Vernay

**CNRS**

PROMES - UPR8521

7 rue du four solaire - 66120 Font-Romeu Odeillo

Tecnosud, Rambla de la thermodynamique - 66100 Perpignan

**Évaluation des universités et des écoles**  
**Évaluation des unités de recherche**  
**Évaluation des formations**  
**Évaluation des organismes nationaux de recherche**  
**Évaluation et accréditation internationales**



19 rue Poissonnière  
75002 Paris, France  
+33 1 89 97 44 00

