



PROpriétés des MATériaux SOLaires - PROMATSOL

## Fiche d'identité

### Composition de l'équipe (ou participants)

Responsable(s): C. Escape, (IE CNRS)

### Mots clés

Diffusivité thermique, réflectivité spectrale UV visible IR angulaire, BRDF, transmittivité, étalonnage.

---

### Les thèmes

Mesure de propriétés optiques et thermiques  
Étalonnage  
Métrologie

### Contrats

- Equipex SOCRATE

### Gros équipements

- LFA 457 MicroFlash, 04/2012, EQUIPEX SOCRATE.
  - CASI, 10/2013, EQUIPEX SOCRATE.
  - SOC 100 HDR, 02/2013, EQUIPEX SOCRATE.
  - Lambda 950, 07/2015, EQUIPEX SOCRATE.
-

## Rapport du service

### INTRODUCTION

Dans le cadre de la dotation par les investissements d'avenir de l'EQUIPEX SOCRATE pour PROMES, le service PROMATSOL a été créé et doté de personnel et d'équipements de mesures physiques pour déterminer les propriétés surfaciques et intrinsèques de matériaux liés au domaine de l'énergie solaire.

Les propriétés thermo-optiques des surfaces gouvernent l'équilibre thermique des absorbeurs des récepteurs solaires et donc leur efficacité. L'enjeu du service est de mesurer ces propriétés afin de contribuer aux choix des matériaux et aux connaissances des récepteurs surfaciques ou volumiques et plus généralement des matériaux mis en œuvre dans les centrales solaires : mesure de l'absorptivité et de l'émissivité absorbeurs, réflectivité solaire des miroirs, conductivité des matériaux de stockage thermique. Avec ces objectifs, des besoins d'étalonnage sont devenus évidents.

Le service regroupe l'ensemble des appareils permettant d'évaluer ces propriétés optiques et thermiques : il dispose pour cela d'un spectroradiomètre UV-Visible, d'un réflectomètre spectral NIR-IR, d'un réflectomètre bidirectionnel, d'un diffusivimètre, d'un banc d'étalonnage pyrométrique et d'un équipement de mesure de réflectivité solaire sur four solaire (DISCO).

## 1. EQUIPEMENTS

### 1.1. LFA 457 MicroFlash

Cet appareil permet de mesurer la diffusivité thermique de matériaux de la température ambiante jusque 1100°C. La conductivité thermique peut être obtenue grâce à la connaissance de la masse volumique et de la chaleur spécifique. Les mesures obtenues sont capitales dans le choix et l'évaluation de matériaux pour le stockage de chaleur.



Figure 1 : LFA 457 à PROMES

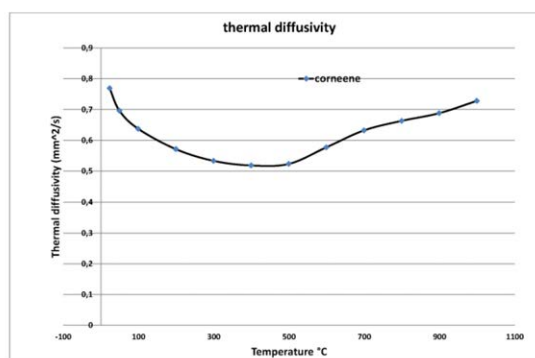


Figure 2 : diffusivité thermique de corneenne

### 1.2. SMS CASI scatterometer

Cet appareil permet de mesurer les angles de diffusion d'un rayon réfléchi. La mesure est réalisée avec un laser à 633nm. Le laser irradie l'échantillon placé sur un axe contrôlé tandis qu'un détecteur est placé sur un goniomètre qui mesure l'énergie réfléchi en effectuant un scan angulaire avec une résolution de 0.001° et une incertitude de 0.05°. On obtient alors la BRDF (réflectivité hémisphérique totale) ou BTDF (transmittivité hémisphérique totale). Par ailleurs l'équipement permet de connaître la rugosité de l'échantillon.

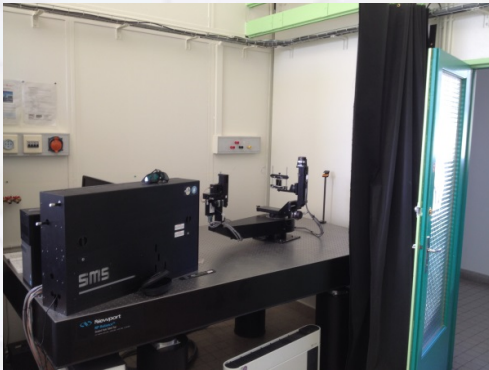


Figure 3 : CASI à PROMES

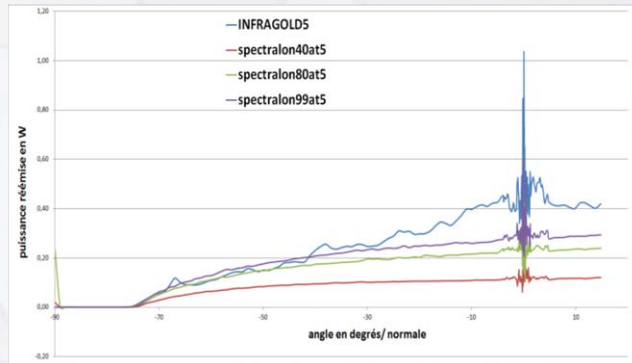


Figure 4 : BRDF d'étalons du service PROMATSOL

### 1.3. SOC 100HDR

Le réflectomètre SOC 100HDR est associé à un spectromètre Thermo-Electron (Nicolet 6700) pour effectuer la mesure de la réflectivité hémisphérique normale et angulaire. Ainsi les résultats permettent de déduire l'émissivité et l'absorptivité de l'échantillon. Cet appareil travaille sur une gamme spectrale de  $2\mu\text{m}$  à  $25\mu\text{m}$  et une gamme de réflexion  $10^\circ$  à  $80^\circ$ . Les mesures en transmission spectrales et angulaires sont aussi possibles en transmission. Un accessoire de contrôle de la température de l'échantillon (jusqu'à  $500^\circ\text{C}$ ) est opérationnel pour la mesure en réflexion.



Figure 5 :SOC100HDR à PROMES

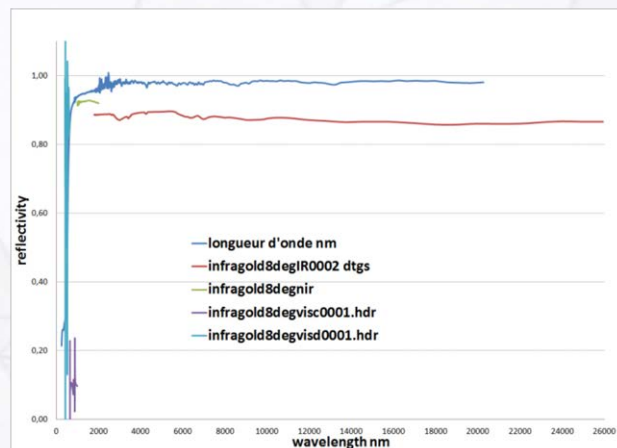


Figure 6 : Réflectivité d'un étalon comparée à sa mesure au SOC100HDR

### 1.4. Perkin Elmer Lambda 950

Le spectrophotomètre UV/vis Lambda 950 (Perkin Elmer) de PROMATSOL est pourvu de 2 accessoires qui permettent les mesures de réflectivité et transmission normale hémisphérique ( $8^\circ$  sphère intégrante) et angulaire avec l'accessoire TAMS (Total Absolute Measurement System) pour une gamme de  $250\text{nm}$  à  $2500\text{nm}$ .

Cet équipement de mesures permet d'obtenir :

- la réflectance totale spéculaire et diffuse de l'échantillon ;
- la réflectance spéculaire et diffuse en fonction de l'angle d'incidence de l'échantillon ;
- la transmission directe totale, normale et diffuse en fonction de l'angle d'incidence de l'échantillon.

Ces mesures permettront le calcul de l'absorbance solaire de verres et matériaux de capteurs solaires sélectifs. C'est un équipement de référence couramment utilisé dans les centres qui qualifient et étalonnent des références.

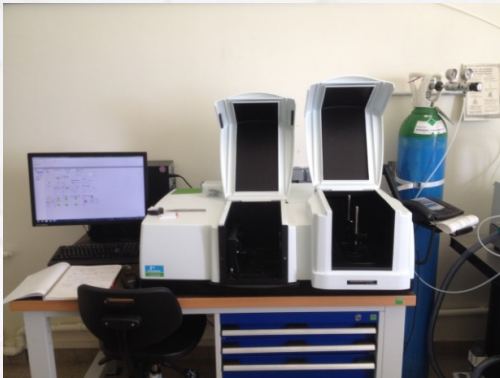


Figure 7 : Lambda 950 équipé de l'accessoire TAMS

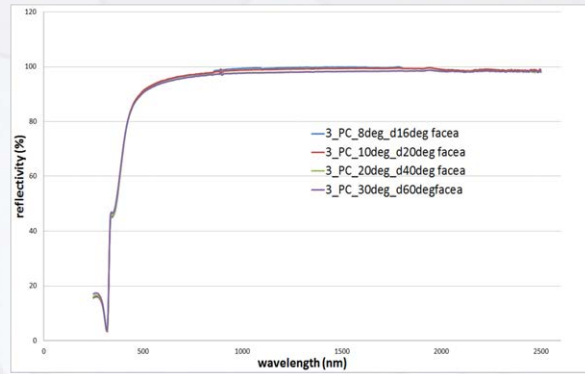


Figure 8 : Réflectivité « miroir\_3PC » face A, face B avec et sans composante spéculaire

### 1.5. DISCO

DISCO est un moyen unique développé par PROMES de mesure de la BRDF à haute température sous flux solaire. Grâce à DISCO, les réflectivités bidirectionnelle et hémisphérique des matériaux opaques et diffusants sont déterminées à température ambiante et à haute température avec, comme source de chaleur, le rayonnement solaire issu d'un concentrateur parabolique de 2m de diamètre.

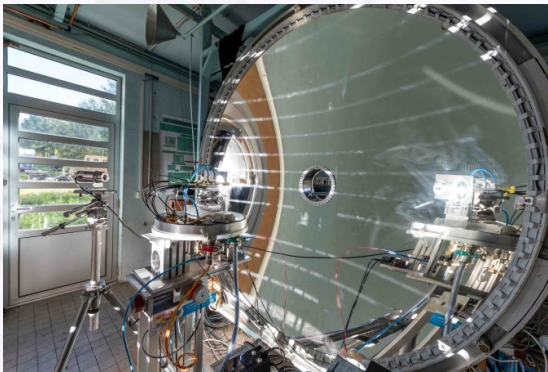


Figure 9 : Dispositif DISCO

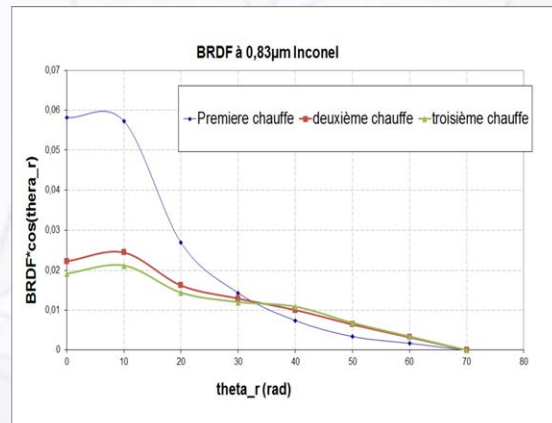


Figure 10 : Mesure sur Inconel à 400°C

### 1.6. Banc d'étalonnage pyrométrique

Le service maintient, améliore et met à disposition un banc d'étalonnage de températures comprenant 3 corps noirs couvrant la gamme de températures de 250°C à 2500°C régulés et contrôlés à l'aide de 2 pyromètres étalons.

Le banc permet d'installer grâce à des tables de translation optiques les moyens de mesure de températures des utilisateurs.

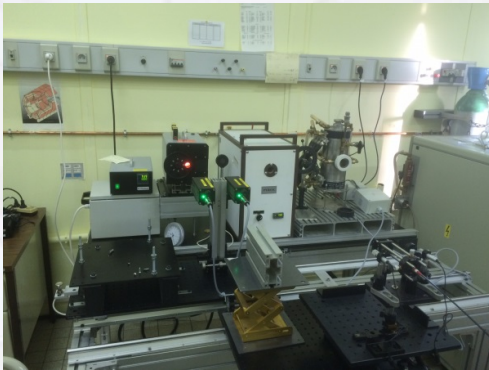


Figure 11 : Banc d'étalonnage pyrométrique

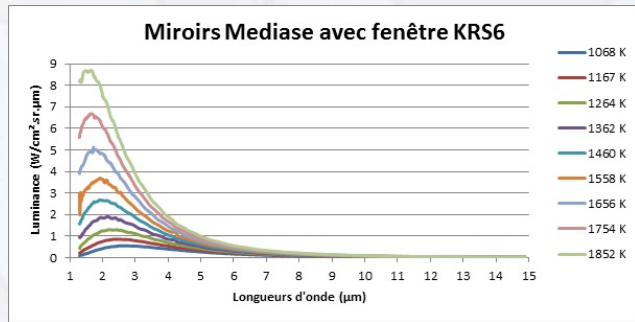


Figure 12 : Mesures sur corps noir

## 2. METROLOGIE

### 2.1. Etalonnage et maintenance

Dans le but de fournir des mesures fiables et justes, le service s'est équipé de standards de réflectance étalonnés couvrant les gammes spectrales des appareils du service avec des zones de recouvrement de certains standards sur plusieurs appareils. En opération nous utilisons des étalons de service qui sont raccordés aux étalons de référence, qui eux-mêmes sont étalonnés par des organismes accrédités ayant fourni les valeurs et certificats. Les équipements sont contrôlés en interne via ces étalons et les services des constructeurs ou revendeurs. De même, la maintenance est assurée par le service en lien avec les fournisseurs pour les garanties en cours.

### 2.2. Méthodes

Le service fonctionne en prestation ou formation selon le nombre et la spécificité des mesures.

Des protocoles usuels existent mais en fonction des exigences de matériaux ou de mises en œuvre, le service met au point des solutions techniques adaptées pour obtenir les informations demandées. Ainsi sont développés des supports spécifiques et des montages mécaniques en partenariat avec l'atelier, des protocoles selon la littérature et les fournisseurs, ou des astuces de mise en œuvre.

Le service peut former l'utilisateur à mettre en œuvre un ou plusieurs équipements pour qu'il puisse être en autonomie.

### 2.3. Enregistrements

Le service a mis en place une traçabilité des mesures, des modes opératoires et des cycles de vie des équipements avec des redondances.

## 3. PERSPECTIVES

### 3.1. Pyroréflectométrie

Le service tient à disposition 2 appareils de mesure de température sans contact par pyroréflectométrie. L'objectif consiste à pérenniser cette technique et à la mettre en œuvre sur les expérimentations.

### 3.2. DISCO

Christophe Escape a pris en main l'expérimentation DISCO dans sa version « basique », l'objectif suivant est le raccordement d'un spectrophotomètre pour en obtenir les informations spectrales.

### 3.3. Intercomparaisons de mesures

Afin de fiabiliser les mesures et d'accroître la participation du service à des réseaux métiers, des échanges avec l'école des mines d'Albi ont débuté et la participation à des round-robin tests est prévue à partir de 2016. Par ailleurs, des essais comparatifs sont également prévus dans le cadre de SolarPACES.