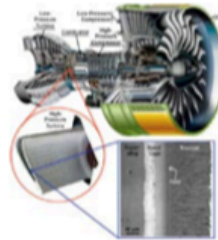
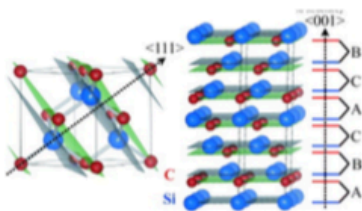


GDR CNRS 2047 TAMARYS

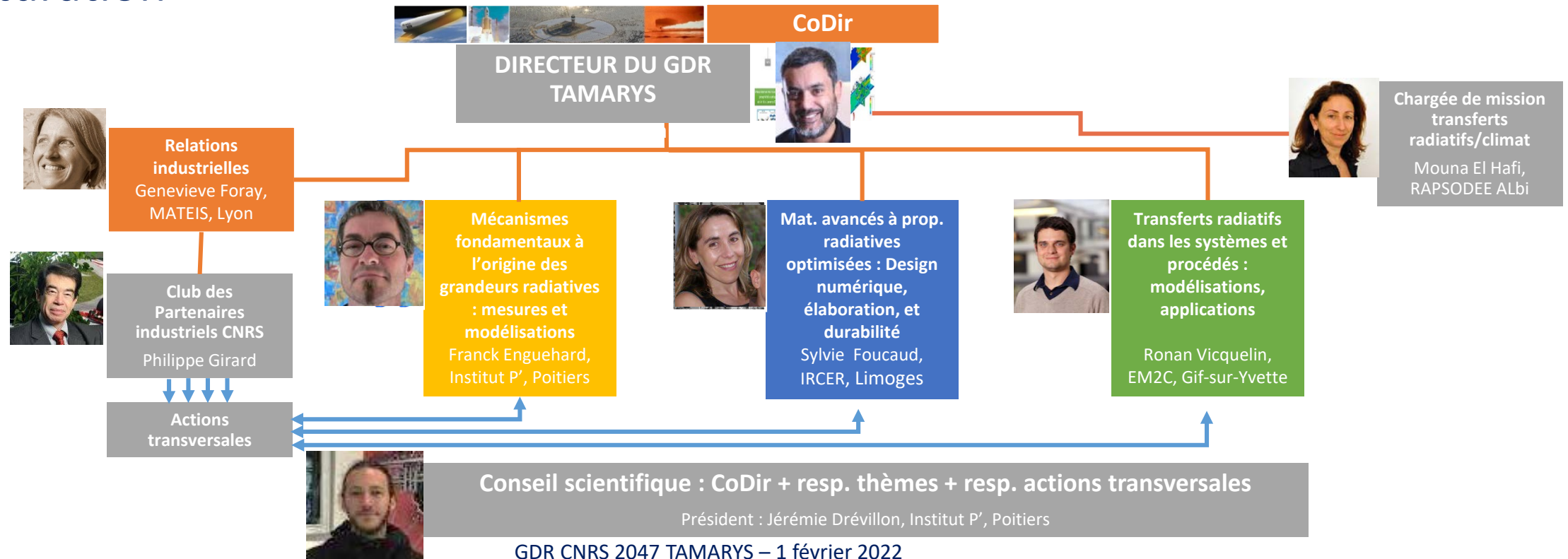
Directeur : Benoit Rousseau (DR2 CNRS)

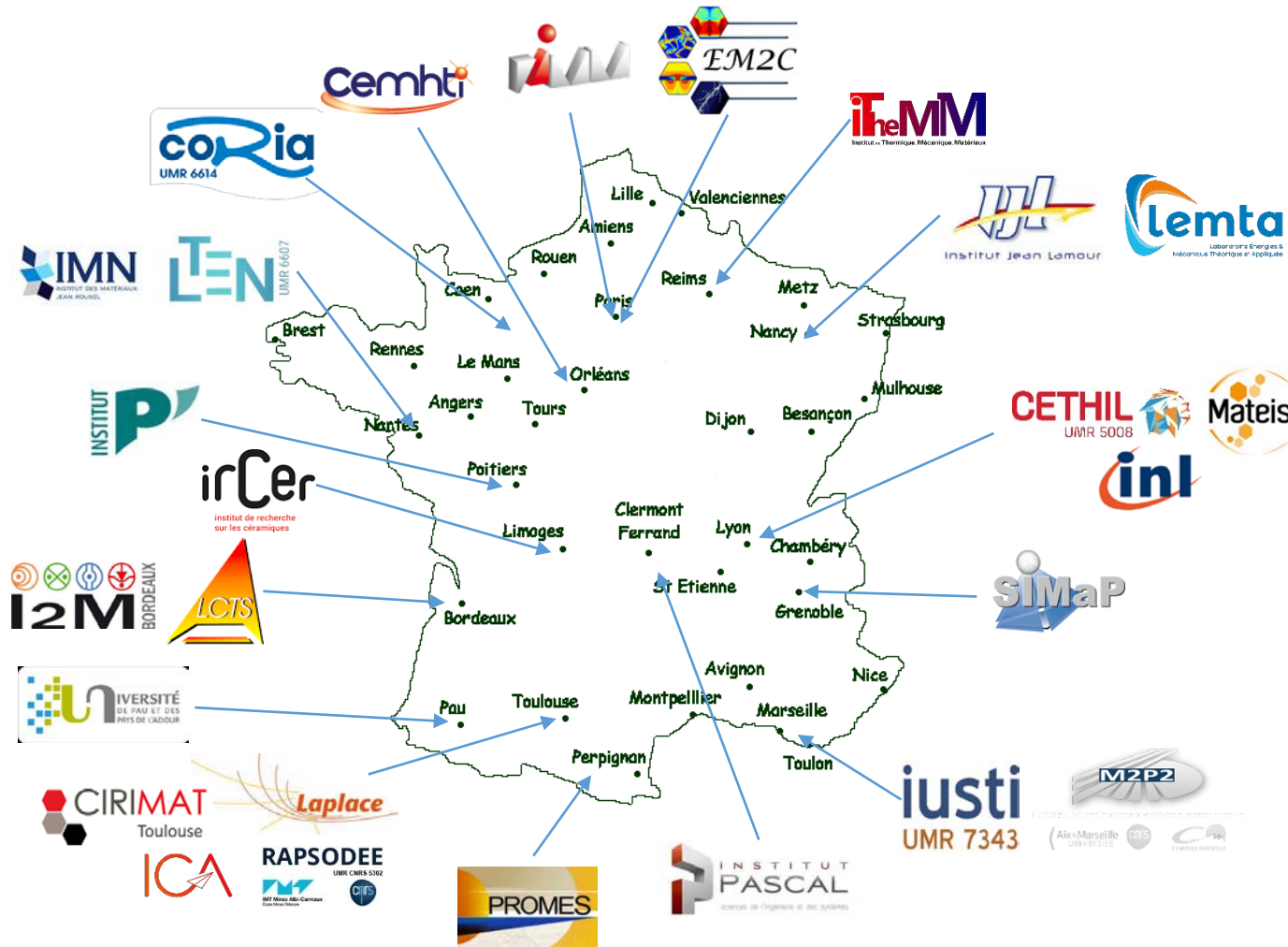
« Transferts rAdiatifs, **MA**tériaux, p**RO**cédés et s**Y**stèmes a**S**sociés »
2019-2024

Réunion AAE – Mercredi 16 mars 2022



- Objectif : fédérer des spécialistes en science des matériaux et en science des transferts radiatifs → lever les verrous multi-échelles et multi-physiques rencontrés dans le développement des procédés et systèmes industriels où la contribution énergétique du rayonnement thermique (infrarouge, solaire) est majeure.
- Structuration





Club des Partenaires

- arianeGROUP
- Le Ripault
CESTA
- cnes
CENTRE NATIONAL
D'ETUDES SPATIALES
- ENGIE
- MERSEN
- SOLVAY
- TotalEnergies

Gestion – partenariat

- CNRS SPV DR17

179 C-EC, Ing., Resp R&D
26 lab. académiques (5 UPR, 19 UMR, 1 EA), 5 entreprises, 3 EPIC

*T1. 1. Caractérisation et identification des propriétés optiques et radiatives des matériaux jusqu'aux conditions extrêmes

Acteurs : CEMHTI, CETHIL, ENGIE, Institut P', ICA, IJL, IMN, iTheMM, LEMTA, LTeN, PIMM, PROMES

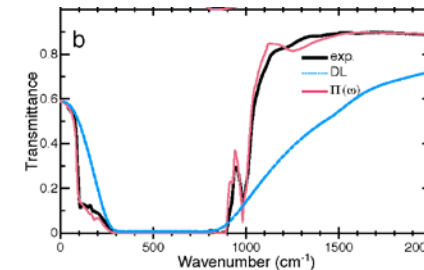
Animateurs : M. Balat-Pichelin PROMES, A. Delmas CETHIL



*T1.2. Modélisation des propriétés optiques de la matière sur le domaine spectral de l'IR à l'UV

Acteurs : CEMHTI, CETHIL, ENGIE, EM2C, IMN, IRCER, LTeN, Solvay

Animateurs : C. Latouche IMN, A. Soufiani EM2C



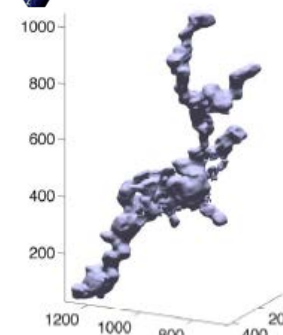
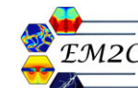
$$\epsilon(\omega) = \epsilon_{\infty} + \frac{S^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2\omega_0\Pi(\omega)},$$

Fugallo et al, PRB 2018

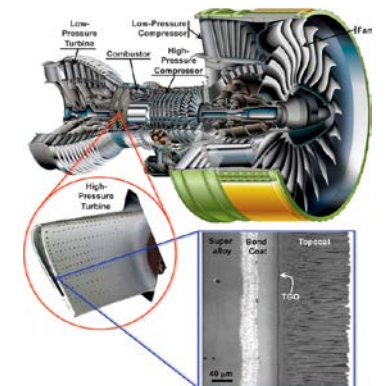
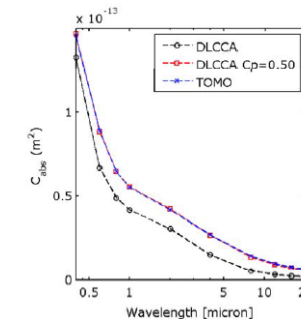
*T1.3. Modélisation de l'interaction rayonnement/matière dans les matériaux composés d'hétérogénéités (grains, particules, fibres, inclusions) de l'ordre de la longueur d'onde

Acteurs : CEMHTI, CETHIL, iTheMM, Institut P', Institut Pascal, IRCER, LAPLACE, LEMTA, RAPSODEE

Animateurs : J. Dauchet Institut Pascal, J. Randrianalisoa iTheMM,

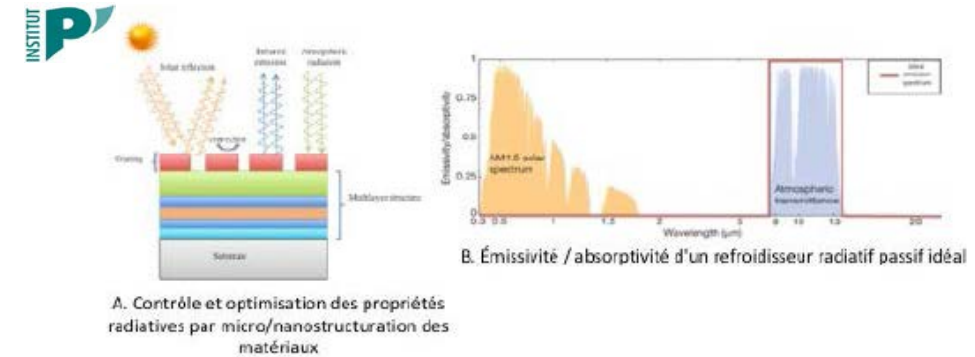


tomography



***T2.1. Design numérique de matériaux/structures à propriétés radiatives contrôlées du 2D vers le 3D**

Acteurs : CEA Le Ripault, CEMHTI, Institut P', IRCER, iTheMM, LCTS, IUSTI, LTEN
 Animateurs : Y. Ezzarhi Institut P', J. Vicente IUSTI



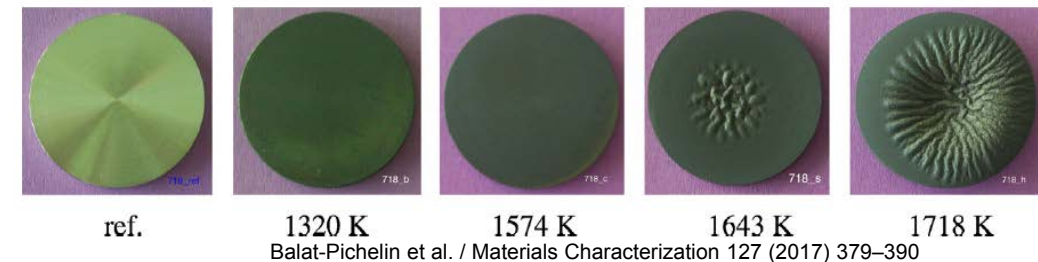
***T2.2. Procédés de mise en forme automatisés : texturation 2D (couches minces, gravures) et 3D (fabrication additive) des matériaux**

Acteurs : Ariane Group, CEA Le Ripault, CEMHTI, ICMCB, IJL, IRCER, LCTS, LTEN, MATEIS, PROMES
 Animateurs : P.-M. Geoffroy IRCER, L. Maille LCTS



***T2.3. Dégradation/vieillessement sous environnements agressifs des matériaux avancés**

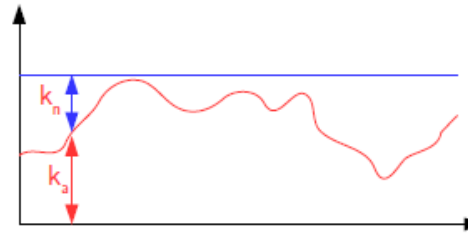
Acteurs : Ariane Group, CEA LR, CEMHTI, CIRIMAT, ICA, IRCER, Institut P', IUSTI, iTheMM, LCTS, MATEIS, Mersen, ONERA, PROMES, SIMAP, TotalEnergies
 Animateurs : L. Charpentier PROMES, D. Monceau CIRIMAT



*T3.1. Nouveaux développements méthodologiques et numériques pour la résolution de l'équation du transfert radiatif

Acteurs : CETHIL, EM2C, GRESPI, IMN, Institut P', LAPLACE, LEMTA, LMAP, LTeN, PROMES, RAPSODEE

Animateurs : M. El Hafi RAPSODEE, Y. Favennec LTeN

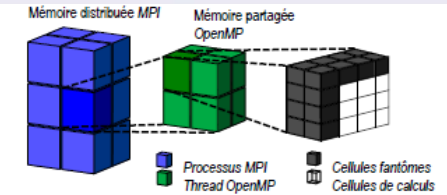


RTE (monochromatic and steady)

$$(s \cdot \nabla + \beta) I(x, s) - \frac{\sigma_s}{4\pi} \oint_S I(x, s') \Phi(s, s') ds' - \kappa I_b(x) = 0 \quad \forall (x \times s) \in (\Omega \times S).$$

STEP 1- DOM applied to RTE $\forall m : 1, \dots, N_d$

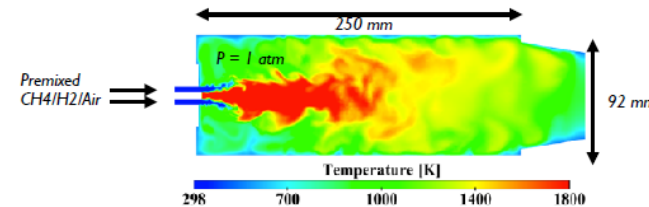
$$(s_m \cdot \nabla + \beta) I_m(x) - \sigma_s \sum_{n=1}^{N_d} \omega_n I_n(x) \Phi_{m,n} - \kappa I_b(x) = 0.$$



*T3.2. Couplages radiatifs en approche multi-physique : prise en compte des matériaux jusqu'aux conditions extrêmes d'usage

Acteurs : Ariane Group, CEA Le Ripault, CEA CESTA, CORIA, EM2C, iTheMM, LAPLACE, LCTS, LEMTA, LTeN, M2P2, PROMES, RAPSODEE, TotalEnergies

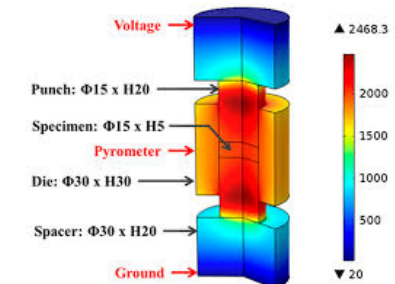
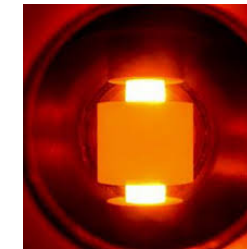
Animateurs : D. Rochais CEA, L. Soucasse EM2C



*T3.3. Maîtrise et contrôle des transferts radiatifs dans les dispositifs d'élaboration de matériaux (pilote laboratoire)

Acteurs : Ariane Group, CIRIMAT, IRCER, LTeN, LCTS, Mersen, SIMAP, PROMES

Animateur : D. Chaussende SIMAP, S. Goutier IRCER



*T3.4. Ingénierie de fours industriels sous flux radiatifs élevés et/ou sous atmosphères complexes

Acteurs : CETHIL, CEMHTI, EM2C, LEMTA, Mersen

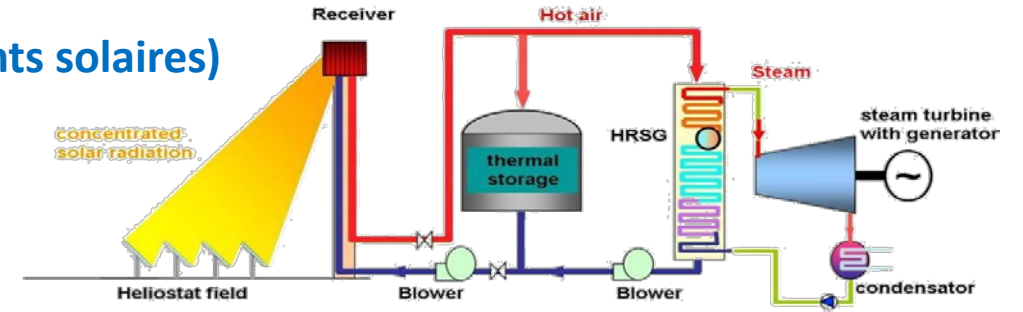
Animateurs : F. André CETHIL



Action Transversale 1 : Solaire thermodynamique (chaleur HT, carburants solaires)

Acteurs : CEA Le Ripault, IRCER, LAPLACE, LTeN, Mersen, PROMES, RAPSODEE, SIMAP, TotalEnergies

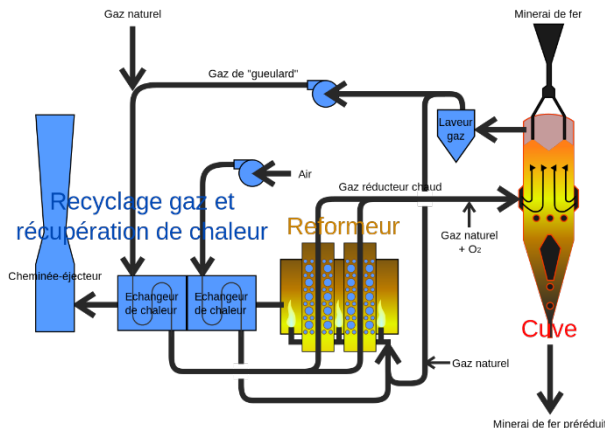
Animateurs : G. Flamant PROMES, P.M. Geoffroy IRCER



Action Transversale 2 : Rentrée atmosphérique

Acteurs : Ariane Group, CEA CESTA, CNES, EM2C, LCTS

Animateur : J. Annaloro CNES, J. Lachaud I2M



Action Transversale 3 : Récupération de la chaleur haute température en industrie intensive

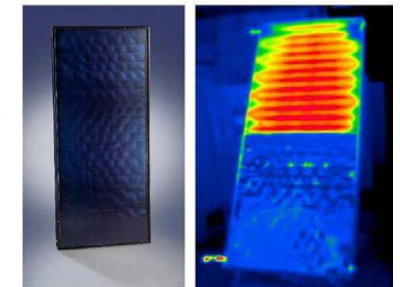
Acteurs : CIRIMAT, IRCER, iTheMM, LEMTA, LTeN, LCTS, Mersen

Animateur : G. Vignoles LCTS, B. Remy LEMTA

Action Transversale 4 : Contrôle radiatif des systèmes & procédés (bâtiment, centrale solaire)

Acteurs : ENGIE, IJL, IMN, INL, Institut P', LMAP, MATEIS, PROMES, Solvay

Animateurs : C. Caliot LMAP, F. Capon IJL

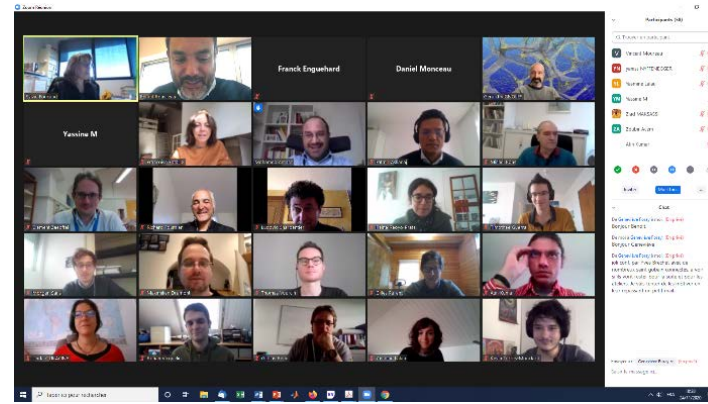


- Journées Annuelles – 2. 5 j. 1^{ère} semaine de juillet 2019→2024

2019 : Nantes (1-3 jui.)



2020 : On-line (23-25 nov.)



2021 : Talence (29 nov. -1^{er} déc.)



- Journées scientifiques thématiques – 1 j. ; ½ j

TAMARYS/FIC/SFT : 2 décembre 2019 (transferts radiatifs/matériaux) ; TAMARYS : 4 février 2021 (indice optique)



- Ecole thématique CNRS **MATTER** (Matériaux architecturés pour le contrôle des transferts radiatifs : de l'élaboration à l'usage en conditions industrielles) → **15-20 mai 2022, Oléron!**

- Club de Partenaires CNRS

- Budget annuel : INSIS 8k€ INC 3k€ CdP 27 k€ HT→ AAP initiatives scientifiques (3k€/projet)



- CdP au 01/02/22 : ArianeGroup, CEA (CESTA, Le Ripault), CNES, Engie, Mersen, Solvay, TotalEnergies
- Convention CNRS, suivi DR17
- Perspectives : Air Liquide, ArcelorMittal,, EDF, Imerys, Saint-Gobain, Safran

Identification de verrous scientifiques communs



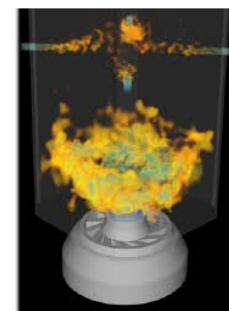
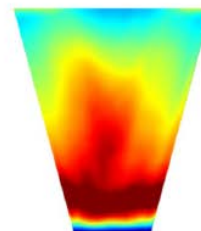
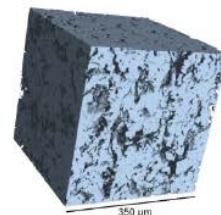
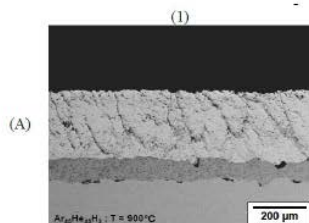
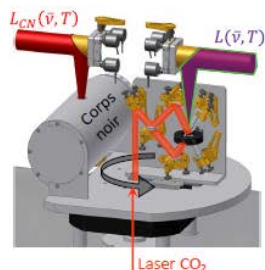
- Mesure des propriétés thermo-radiatives en environnement extrême et/ou complexe : approche expérimentale versus approche modélisation numérique.
- Détermination des indices optiques et des microstructures de matériaux hétérogènes industriels modèles situés hors champs de la PI : décorréler les composantes extrinsèques (texture → diffusion du rayonnement thermique, mise en forme) des composantes intrinsèques (composition chimique → dynamique vibrationnelle)
- Détermination des conductivités thermiques effectives intégrant les transferts couplés : approche expérimentale versus approche modélisation numérique
- Développement de matériaux à propriétés thermo-radiatives contrôlés du cm au m : → procédés-microstructures-propriétés
- **Transferts radiatifs dans les écoulements (plasma, combustion par exemple) vis-à-vis des matériaux.**



Atelier - Influence du rayonnement thermique sur le comportement des écoulements au voisinage d'une paroi (barrières thermiques / chambres de combustion, ...)

Journées annuelles du GDR TAMARYS

29 novembre - 01 décembre 2021



Conseil Scientifique du GDR / réflexion par axes thématiques
2020 : coloration thématique → vieillissement des matériaux



Deuxièmes Journées Annuelles du GDR TAMARYS
on line : 23-25 novembre 2020

Durabilité des systèmes barrières thermiques aéronautiques corrosion, oxydation, frittage, cyclage thermique

➔ Critères pour de nouveaux systèmes

Daniel Monceau
CNRS, CIRIMAT, Toulouse-INP Ensiacet

Ageing of architected multimaterials : an intrinsic flaw or an additional asset ?

*Yves Bréchet, Scientific director for Saint Gobain,
Professor at Monash University, Member of the French Academy of Sciences*

Architected multimaterials is a design strategy playing on the combination of materials and shapes to fulfill efficiently complex sets of requirements. By their very nature, involving contacts between different materials and controlled geometries, they present new challenges in term of implementation (component assembly), of ageing (corrosion, oxidation, fatigue, resistance to thermal cycling), of recycling (disassembling, separating, reusing). These issues may be seen as weaknesses of multimaterials design, they can also be envisaged as an additional asset when they can be addressed through modelling from the beginning.

ICA INSTITUT CLÉMENT ADER Tamarys

Détection précoce et suivi in situ de l'oxydation d'un revêtement MCrAlY par thermoréfectométrie

GDR TAMARYS

Maxime Ecochard, Rémi Gilblas, Damien Texier, Thomas Pottier, Thierry Sentenac (ICA, France)

Environnements sévères

Contraintes thermiques

Contraintes mécaniques

- Localisation de la déformation
- Fissuration
- Oxydation
- Nitruration
- Génération de pores
- Récession du métal
- ...

endommagement mécanique
les réactions de surface qui se produisent à petite échelle et principalement à la surface

Endommagements précoces non attendus

Surveillance de ces dommages essentielle pour la sécurité d'utilisation de ces composants

THERMOREFLECTOMETRIE

thermographie → technique de cartographie spatiale et temporelle des températures

réflectométrie → caractère actif de la méthode qui repose sur une source d'éclairage

Infrared camera (NIR)

55 cm

Filter wheel
- $\lambda_1 = 1064 \text{ nm}$
- $\lambda_2 = 1310 \text{ nm}$
- $\lambda_3 = 1550 \text{ nm}$

Heating pl.

La thermoréfectométrie permet de calculer le champ de température vraie et le champ d'émissivité.

Thermoréfectomètre trichromatique

Impossibilité de mesurer la réflectivité hémisphérique à haute température

- sphère intégratrice non résistante aux hautes températures

Thermoréfectométrie

8 mm

TC 1 : 710 °C
TC 2 : 727 °C
TC 3 : 692 °C

(a) échantillon de 15 μm préoxydé 20h à 1100 °C avant le chauffage et (b) en température de luminance à chaud

Echantillon 15 μm préoxydé 20h à 1100 °C (a) Champ de température vraie et (b) en champ d'émissivité à 1.550 μm

→ Résultats cohérents avec l'étude à froid

→ augmentation locale de l'émissivité corrélée à la présence de chromine

Oléron, 15-20 mai 2022 (65 places)



Salle Éric-Tabarly

- Notions de base en rayonnement thermique (3h00)
- Physique du transfert radiatif en milieu semi-transparent (3h00)
- Résolution numérique de l'équation du transfert radiatif (1h30)

- Mécanismes physiques multi-échelles responsables des propriétés radiatives au sein des matériaux homogènes et hétérogènes (3h00)

- Procédés d'élaboration des matériaux architecturés :
 - céramiques (4h30)
 - traitements de surface : couches minces / couches épaisses (3h00)

- Caractérisations multi-échelles des matériaux : tomographie électronique, neutron, X (1h30)
- Caractérisation et identification des grandeurs radiatives → 2500 K (3h00)

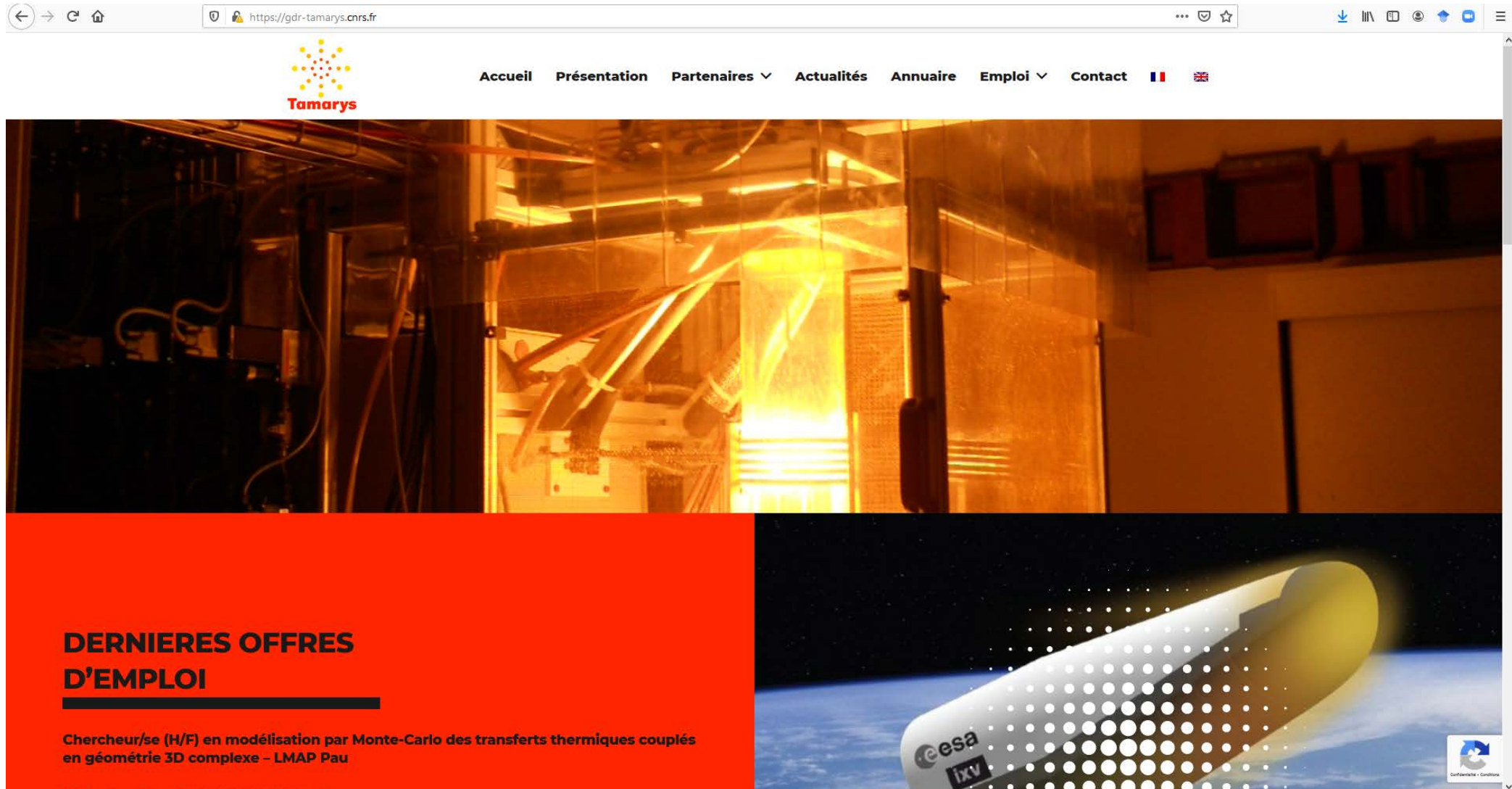
- Conception numérique multi-échelle de matériaux architecturés à propriétés (conducto) radiatives optimisées (3h00)

INSIS

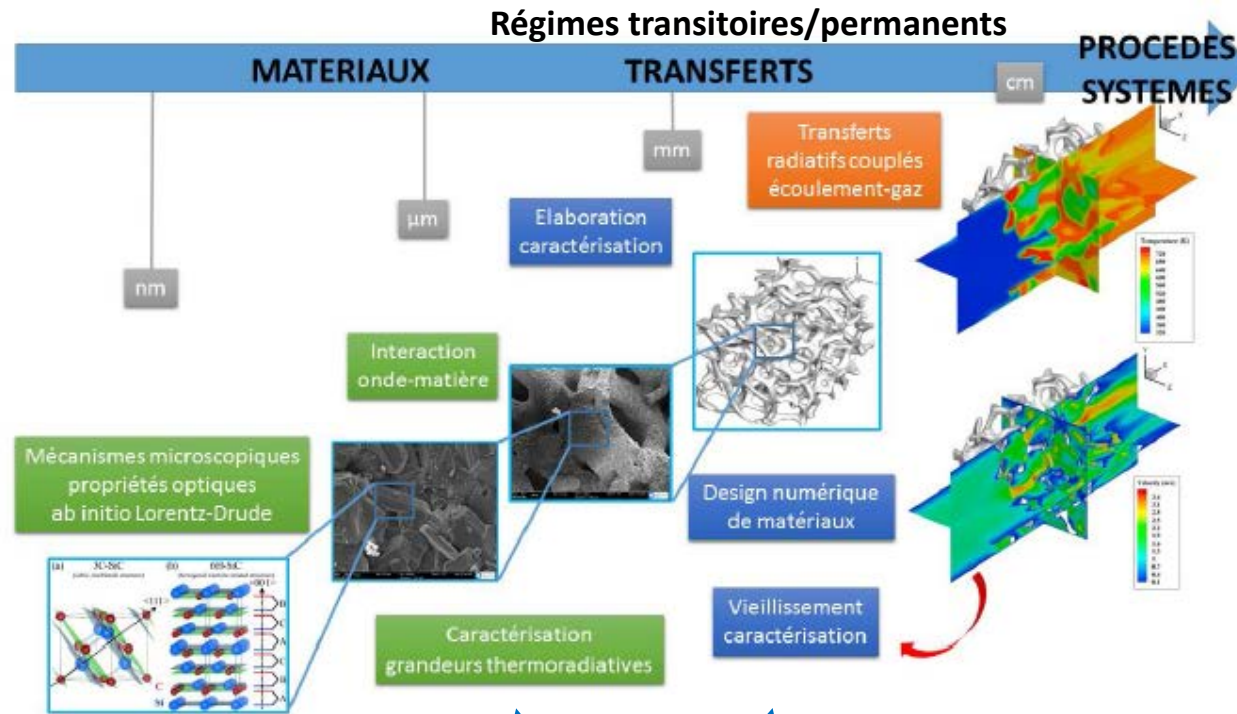
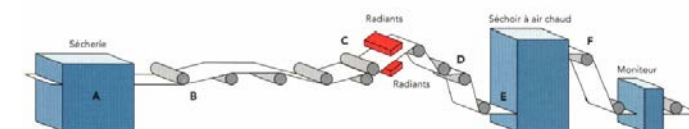
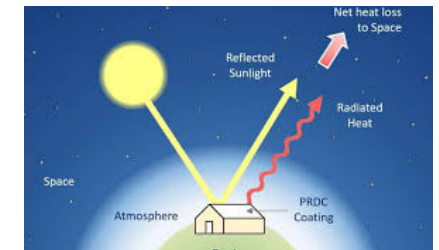
- Interaction avec F. Godeferd → PEPR exploratoire DIADEME → Présentation Mario Maglione 1^{er} décembre 2021
- Interaction avec F. Lemoine → PEPR « decarbonation industrie »
- Participation à la Cellule Europe CNRS (Groupe Miroir Energy du Cluster 5 « Climat/Energy » - Europe)
- Participation à la journée CORRINOV de l'INP 15/09/21

Collaboration inter-laboratoire

- Autre action en vue → recrutement d'un post-doctorant TAMARYS (18 mois ?) : benchmark conducto-radiatif (voir présentation F. Enguehard – B. Rousseau 1^{er} décembre) – montage possible avec la DR17 (Anne Fagon)



Un leitmotiv : définir et élaborer des matériaux performants pour la conception de systèmes et procédés optimisés en environnement complexe (hautes températures, écoulements réactifs,...)



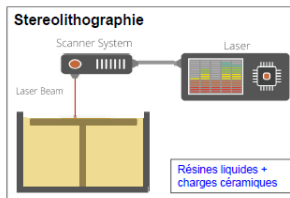
Organisation multi-échelle des matériaux

ELABORATION

SIMaP



cea



MERCI POUR VOTRE ATTENTION!