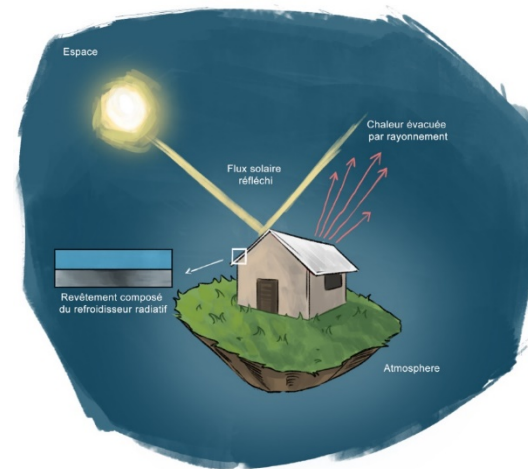


# Décarbonation de quelques procédés industriels impliquant les transferts radiatifs

Benoit Rousseau – DR2 CNRS

Laboratoire de Thermique et Energie de Nantes UMR CNRS 6607

S10 du CoNRS : Milieux fluides et réactifs : transports, transferts, procédés de transformation



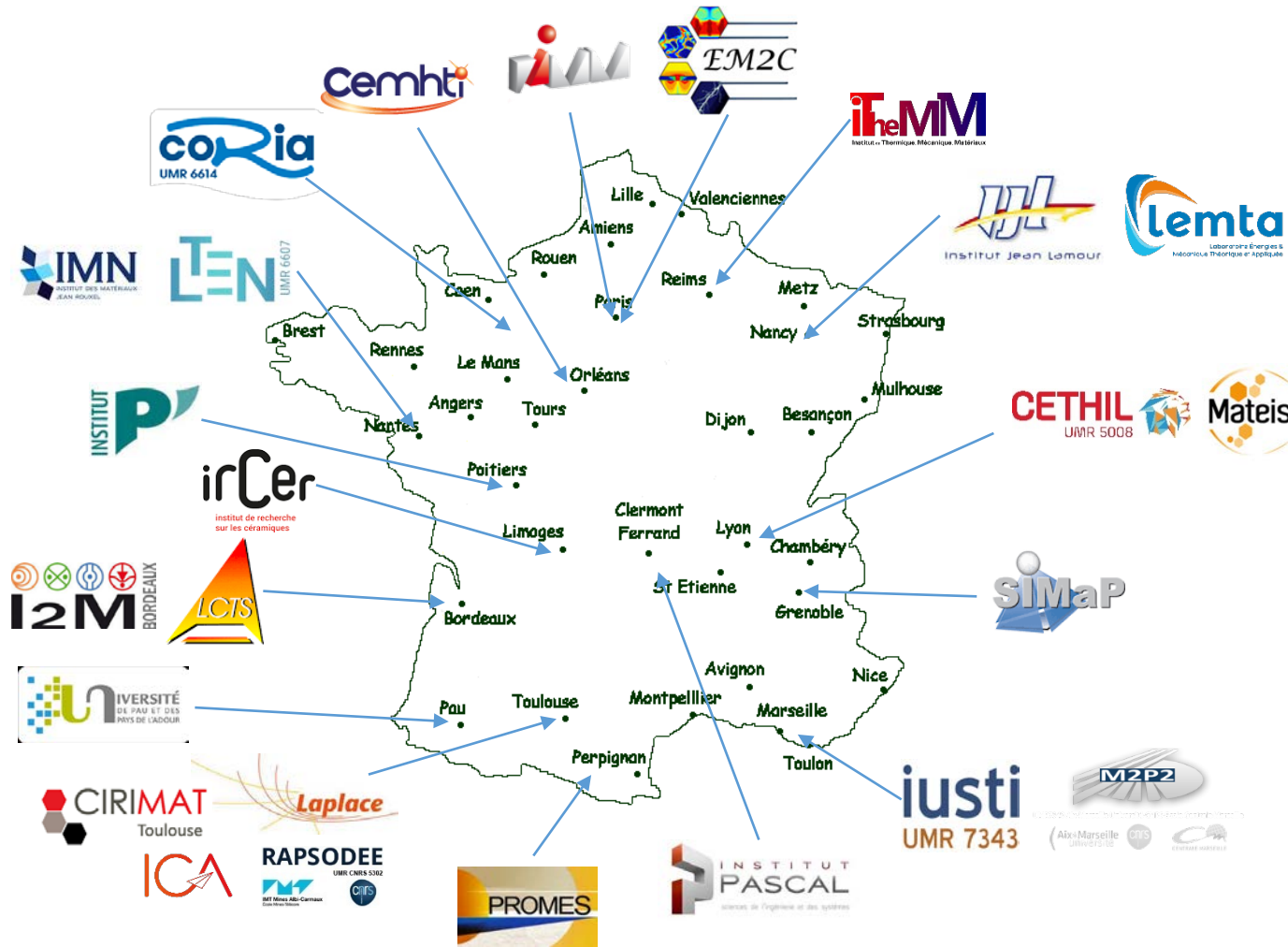
- Interaction onde-matière
- Compréhension multi-échelle (atome → grain → matériau architecturé) de l'absorption du rayonnement thermique
- Quantification des échanges thermiques (résolution de l'Equation du Transfert Radiatif)
- **Quelles optimisations?**



# GDR TAMARYS : « Transferts rAdiatifs, MAtériaux, pRocédés et sYstèmes aSsociés »



50 % S10 (INSIS)- 50 % S15 (INC)



Club des Partenaires  
au 16/06/22



Gestion – partenariat

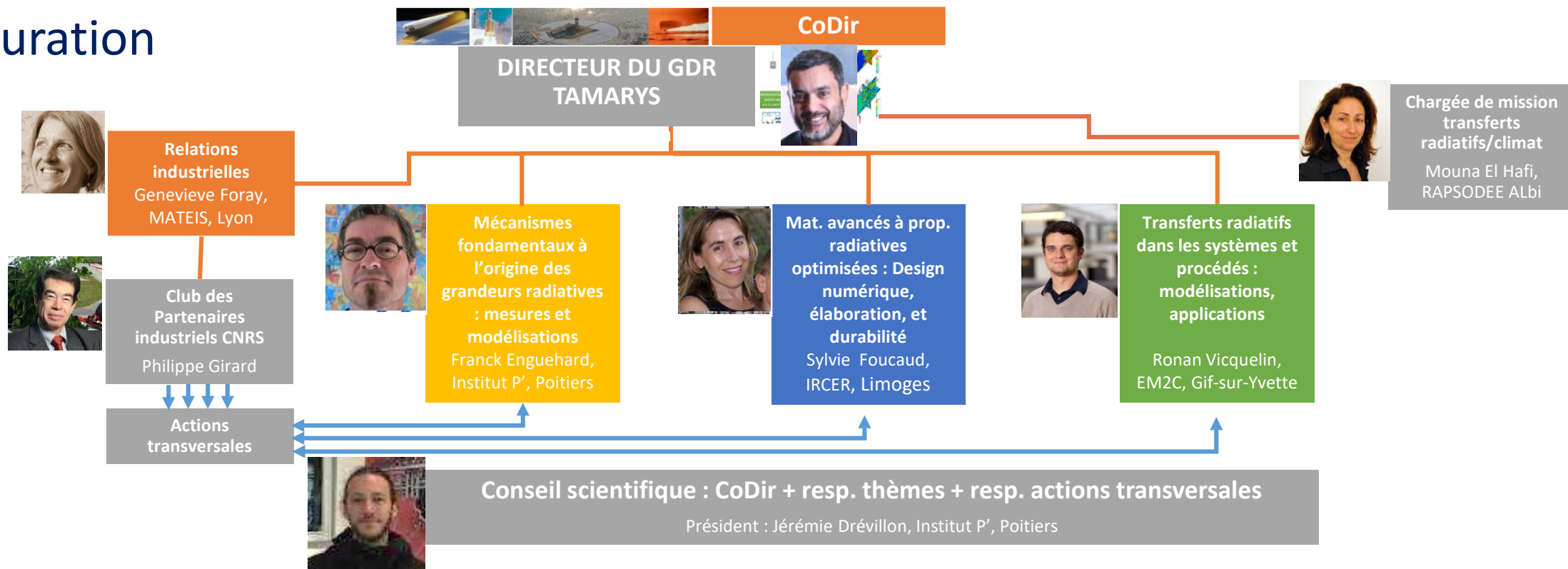


179 C-EC, Ing., Resp R&D

26 lab. académiques (4 UPR, 21 UMR, 1 EA), 6 entreprises, 3 EPIC

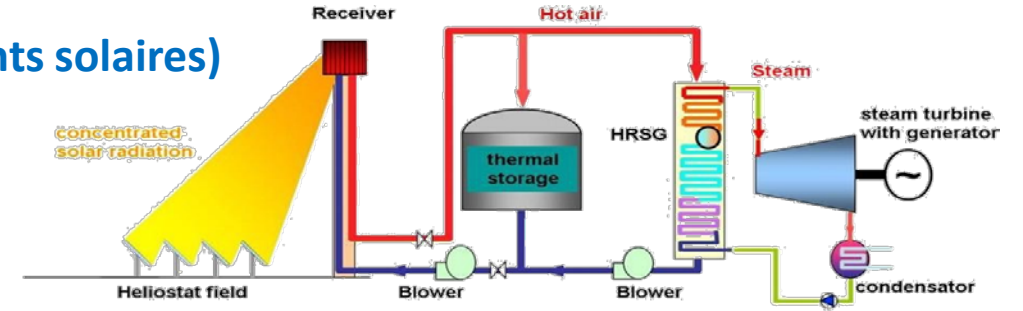
- Objectif : fédérer des spécialistes en science des matériaux et en science des transferts radiatifs → lever les verrous multi-échelles et multi-physiques rencontrés dans le développement des procédés et systèmes industriels où la contribution énergétique du rayonnement thermique (infrarouge, solaire)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

## • Structuration



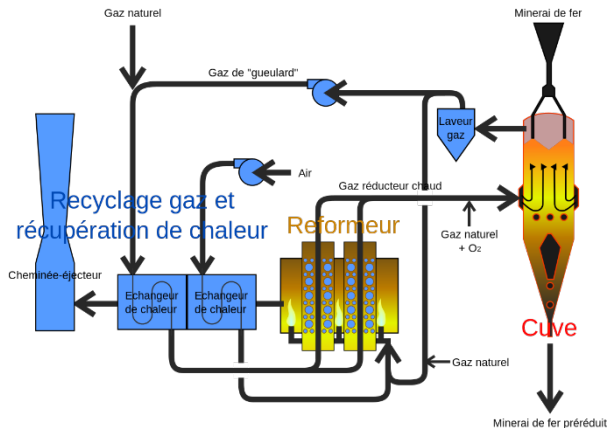
## Action Transversale 1 : Solaire thermodynamique (chaleur HT, carburants solaires)

Acteurs : CEA Le Ripault, IRCER, LAPLACE, LTeN, Mersen, PROMES, RAPSODEE, SIMAP, TotalEnergies, 3D CERAM  
 Animateurs : G. Flamant PROMES, P.M. Geoffroy IRCER



## Action Transversale 2 : Rentrée atmosphérique

Acteurs : AGS, CEA CESTA, CNES, EM2C, LCTS  
 Animateur : J. Annaloro CNES, J. Lachaud I2M

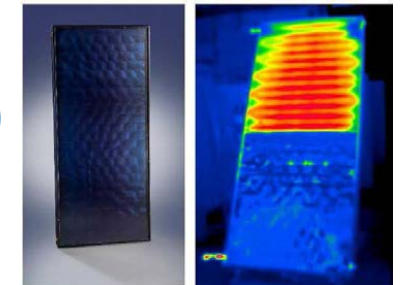


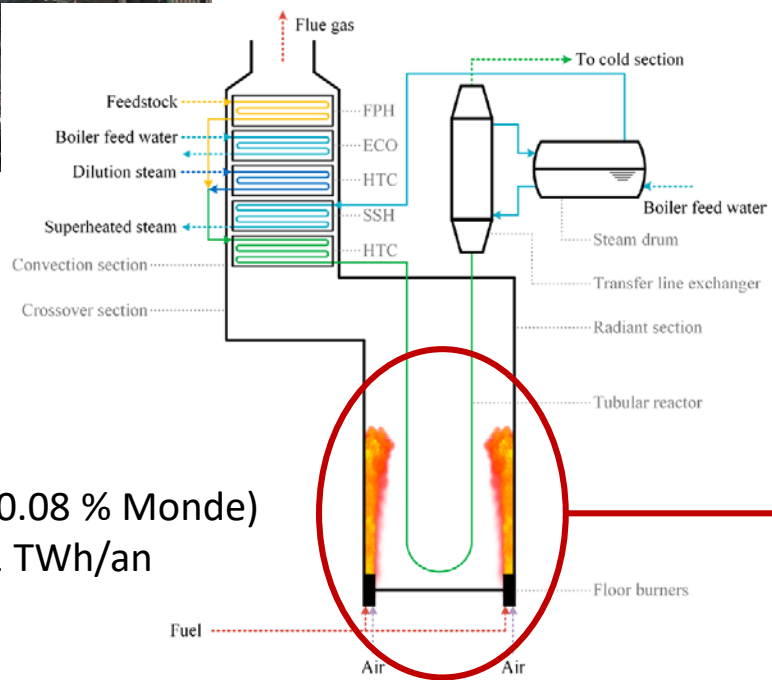
## Action Transversale 3 : Récupération de la chaleur haute température en industrie intensive

Acteurs : CIRIMAT, IRCER, iTheMM, LEMTA, LTeN, LCTS, Mersen, 3D CERAM  
 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





Emetteurs radiants électriques



Remplacement brûleurs gaz



Europe : the world's first climate-neutral region by 2050 (SNBC, France)



“Crackers” européens → ~30 Mt of CO<sub>2</sub> (0.08 % Monde)  
40 sites de productions : ~20 GW soit 171 TWh/an

- Pétrole lourd : 880 g eq CO<sub>2</sub>/kWh

- PV : 29 g eq CO<sub>2</sub>/kWh ; éolien : 11 g eq CO<sub>2</sub>/kWh

Procédé de conversion	GWP (gCO <sub>2</sub> eq./kWh)	CED (MJ/kWh)
Centrale à charbon	1000	12,6
Centrale à gaz	760	7,79
Centrale à pétrole	880	11,9
Centrale nucléaire	12	78,8
Solaire PV	29,2	0,61
Solaire concentré	30,9	0,44
Eoliennes	9,4	0,13
Hydraulique	11,6	0,16
Géothermie	33,6	0,52

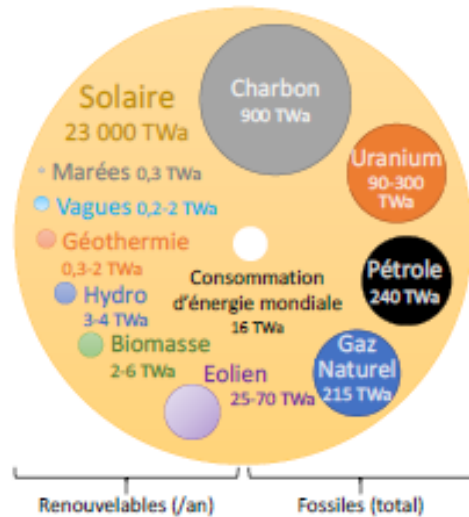


Figure 1-1 : Comparaison des réserves d'énergies primaires p/r au besoin annuel en énergie (2009) [7]  
1 Twa = 8760 TWh

Tableau 1-1 : Indicateurs d'impact environnementaux de différents procédés de conversion [4] [5]

CED : Cumulative Energy Demand (consommation d'énergie primaire ou « énergie grise »)

Thèse Yasmine Lalau - UPVD – 2017  
yasmine.lalau@mines-albi.fr





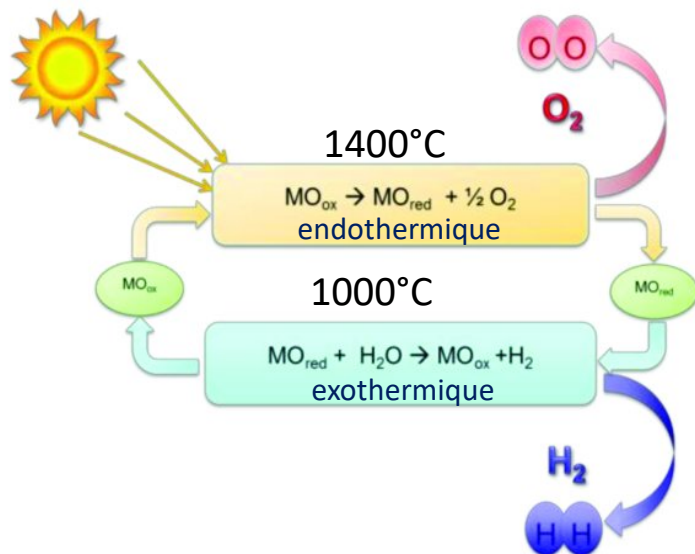
Type	Linéaire		Ponctuelle	
	Cylindro-parabolique	Fresnel	Parabolique	Tour
Principe				
Ex. de centrale	Noor I, 160 MW	Dhursar, 250 MW	Maricopa, 1,5 MW	Crescent Dunes, 110 MW
C	80	50	1500	1000
Tmax	550°C	300°C	1000°C	800°C
η conv.	23-27%	18-22%	30%	20-27%
η annuel	15-16%	8-10%	26%	15-17%
Eau**	4.7 L.kWh <sup>-1</sup> [19]	3-4 L.kWh <sup>-1</sup> [15]	>0.1 L.kWh <sup>-1</sup> [15]	1.4 L.kWh <sup>-1</sup> [20]
Sol	6-8 m <sup>2</sup> .MWh <sup>-1</sup>	4-6 m <sup>2</sup> .MWh <sup>-1</sup>	8-12 m <sup>2</sup> .MWh <sup>-1</sup>	8-12 m <sup>2</sup> .MWh <sup>-1</sup>
GWP	26 gCO <sub>2</sub> eq.kWh <sup>-1</sup> [19]	31 gCO <sub>2</sub> eq.kWh <sup>-1</sup> [21]	NC	37 gCO <sub>2</sub> eq.kWh <sup>-1</sup> [20]
CED	0.4 MJeq.kWh <sup>-1</sup> [19]	0.55 MJeq.kWh <sup>-1</sup> [21]	NC	0.49 MJeq.kWh <sup>-1</sup> [20]
Coût*	0.16 €/kWh	0.2 €/kWh	NC	0.2 €/kWh
Stockage	++	+	-	+++

Tableau 1-2 : Comparaison des technologies de centrales thermodynamiques. [22] [23]  
\*pour générer 100 MW avec 2.5 MWh.m<sup>2</sup>.an<sup>-1</sup> d'ensoleillement, avec stockage si applicable  
\*\*sans « dry cooling »

## Dissociation thermo-chimique de la vapeur d'eau



Fort intérêt pour l'oxyde de cérium  $\text{CeO}_{2-\delta}$  :

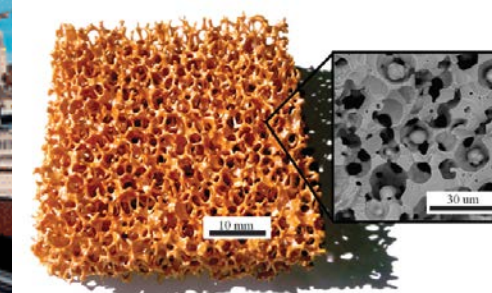
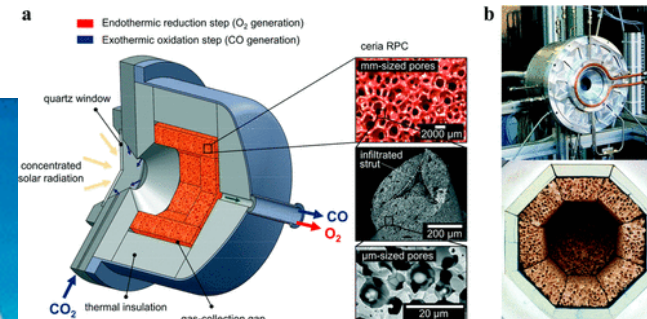
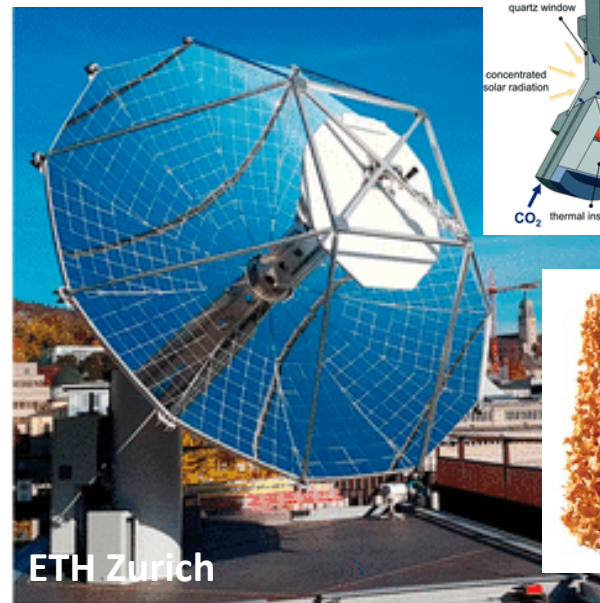
- Stabilité thermique ( $T > 1400^{\circ}\text{C}$ )
- Bonne cinétique d'oxydation ( $\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ),
- Bon taux de diffusion de l'oxygène
- Bonne disponibilité d'approvisionnement



## Technology Readiness Level of Solar Thermochemical Splitting Cycles

Cite This ACS Energy Lett. 2021, 6, 1170–1174

Read Online



- Réacteur 4 kW
- Concentration : 3000 suns
- Efficacité de conversion solaire- $\text{H}_2 \sim 5.25\%$





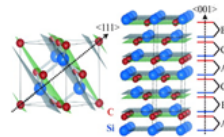
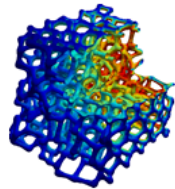


## 4èmes Journées Annuelles du GDR CNRS TAMARYS

27-29 juin 2022

Amphithéâtre Chaude Chappe – INSA Lyon

### Keynote speakers



Jean-Michel Hartmann  
LMD - Palaiseau



Vadim Allheily  
ISL – Saint Louis



Aurélie Quet  
CEA Le Ripault - Monts



Vincent Moureau  
CORIA – Rouen



Katia Cagnelli-Barral  
INSIS - Paris

Organisation locale



Parrainages

