FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY

UPDATES FROM CNES

PROF GUILLAUME LEGROS *

FLUID AND MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY PROGRAM

Pessac (FRANCE)

OCTOBER 27TH 2026



* Guillaume.Legros.External@cnes.fr

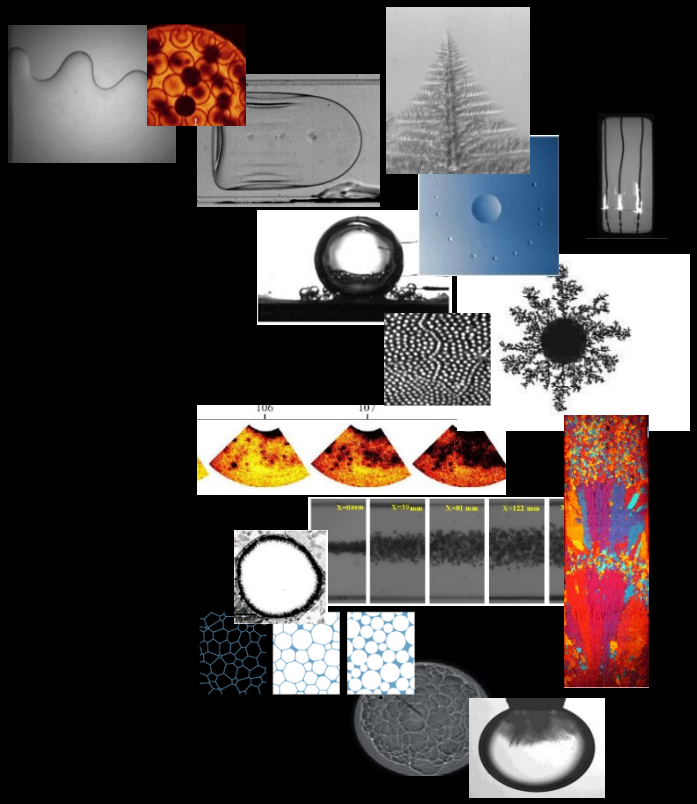
SCOPE

- CNES updates for Fluid & Material Sciences in Microgravity
- European cooperation in LEO for Fluid & Material Sciences in Microgravity
- Ambitions and associated efforts

FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY SUPPORTED BY CNES

TOPICS COVERED

- ★ Combustion Science
  - Solid, Gaz, Supercritical reacting Fluids
- ★ Fluid Physics
  - Flows, Boiling, Heat transfer
- ★ Complex Fluids
  - Foams, Colloids, Granular
- ★ Materials Science
  - Solidification
- ★ Biophysics
  - Blood flow and endothelial dysfunction, Bioparticules



FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY SUPPORTED BY CNES

CNES support to Fluid & Material Sciences Program

- Support 150 Scientists in 40 Laboratories
- Experiments in Parabolic Flights
- Experiments in the ISS
- R&T
- PhD and post-PhD

The scientists using microgravity aggregate within a network called GdR MFA :

GdR MFA
~ Group of Research
Fundamental and Applied Microgravity

Standing for ESA and CNES experiments (among others)

Snapshot 2026 of the CNES funding for Fluid & Material Sciences in Microgravity



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

cnes

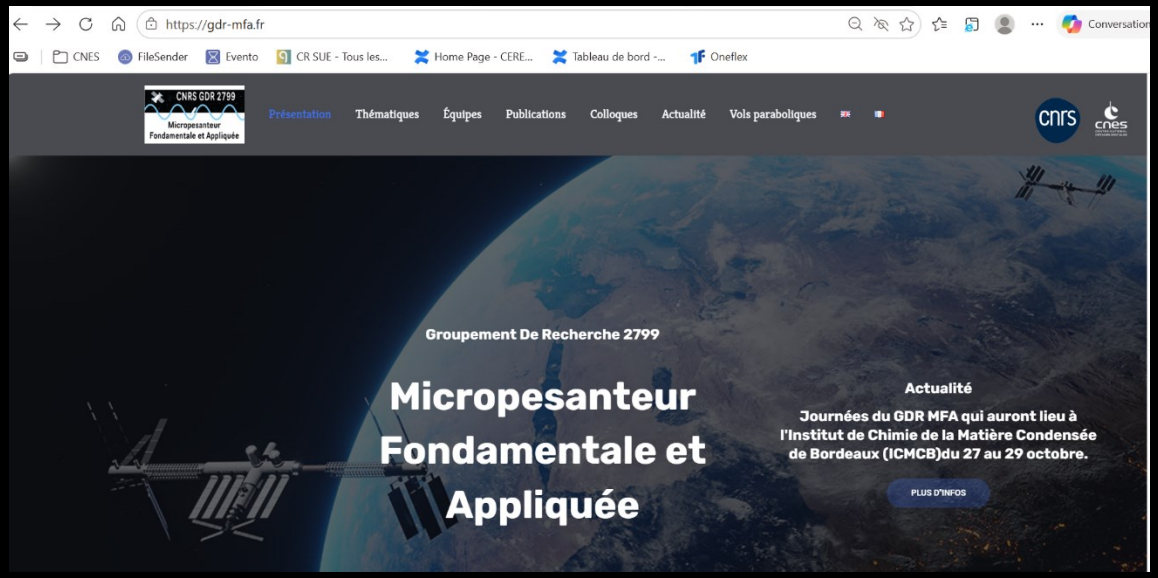
FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY SUPPORTED BY CNES

- PhD granted in 2026
  - PhD SdM : 3
  - Evolution / 2025 : ~ +1
  - Locations:
    1. ISAE – multiphase flow
    2. ENS Lyon - biomimetics
    3. Sorbonne Univ / Ecole Polytechnique – solidification fronts' dynamics

- Post-docs granted in 2026
  - Post-doc SdM : 1
  - Evolution / 2025 : 0
  - Locations:
    1. CINAM - biophysique
    2. ~~IUSTI – dynamique de l'évaporation de gouttelettes (collab ISRO?)~~

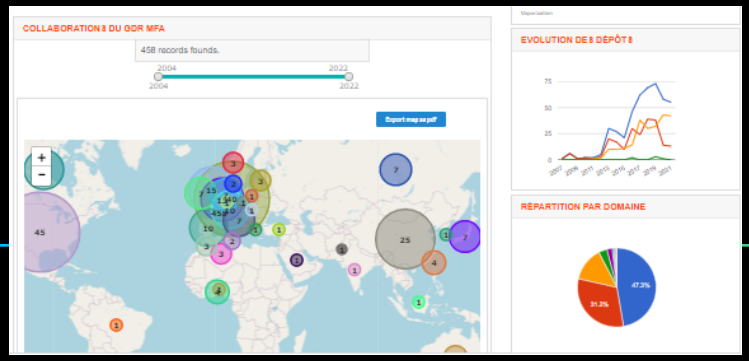
FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY SUPPORTED BY CNES

GdR MFA: annual meeting, web site, publications







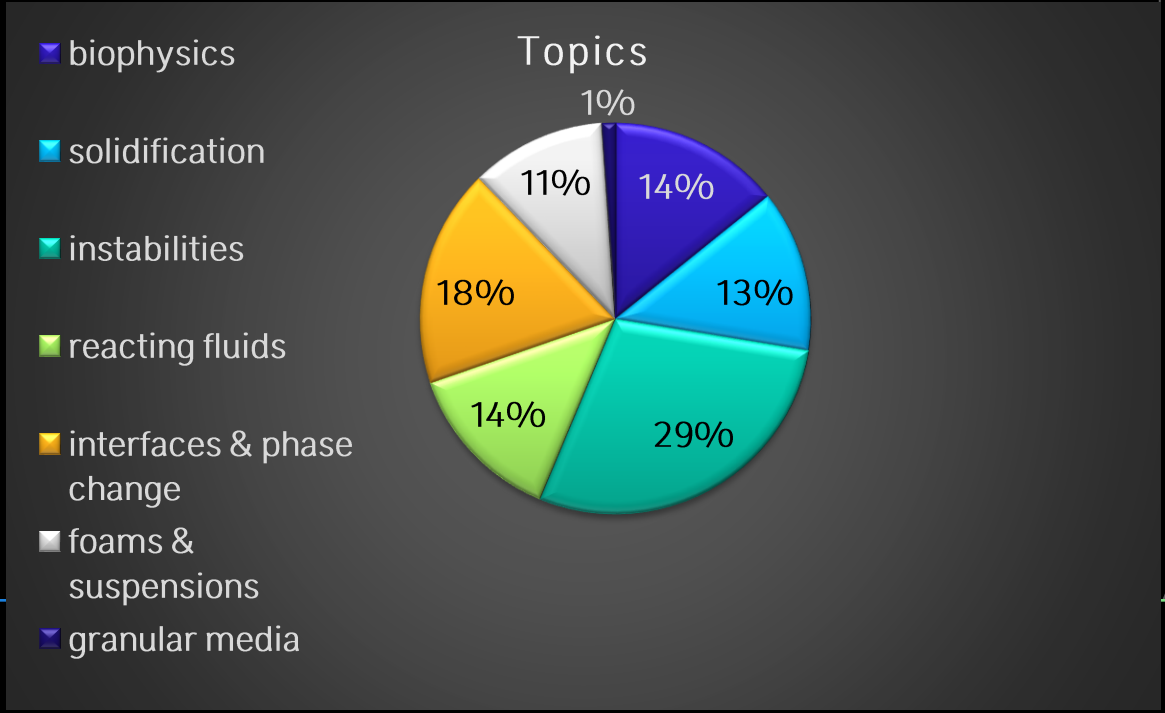


RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

cnes

FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY SUPPORTED BY CNES

- Call for proposal 2027
  - Dedicated budget : ~ 1,0 M€ directly to the public labs
  - Ongoing evaluation : 4 new proposals
  - Funding 2026:



REMINDER

PRIORITIES IDENTIFIED

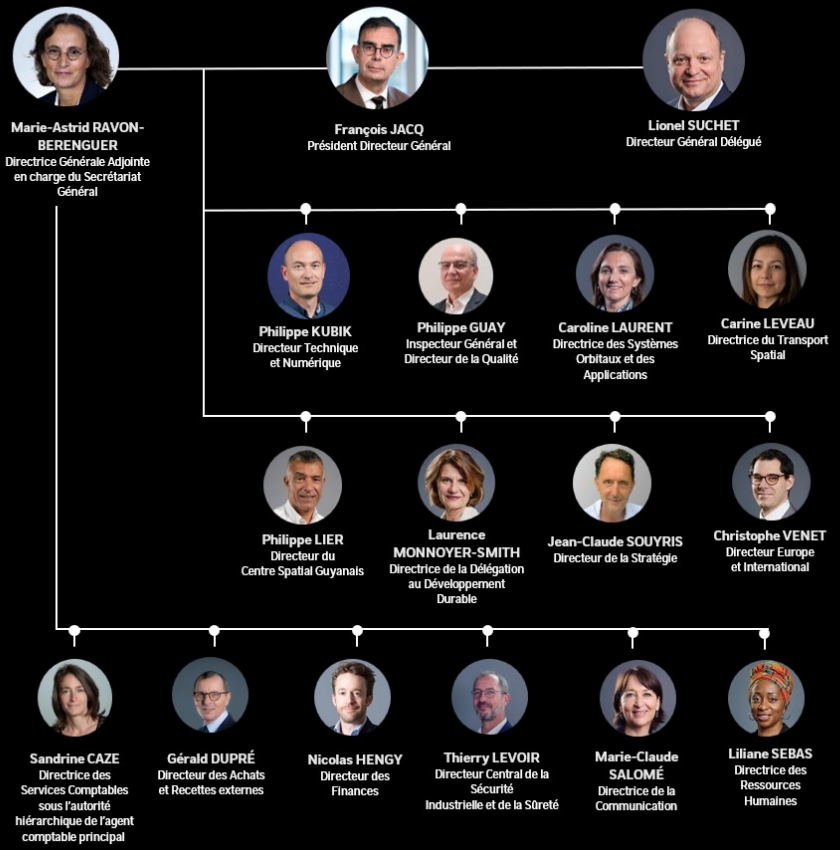
FOR THE FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY

Prospective Science

	Objectif scientifique	Type de mesure/Observable	Cadre de réalisation
MAJEURE	**Micro-physique des nuages**	Condensation de l'eau et influence de la turbulence	DECLIC_EVO – Insert AEROSOL Phase A au CNES Programmatique à travailler NASA/ESA, post-ISS
MAJEURE	**Combustion bas carbone**	Combustion de matière organique dans l'eau supercritique	DECLIC_EVO – Insert SCWO Phase A au CNES Programmatique à travailler NASA/ESA, post-ISS
MAJEURE	**Etude des grandes échelles en turbulence d'ondes**	Dynamique d'interface	FLUIDICS_L Phase A au CNES Coopération ESA
SUBSTANTIELLE	**Murissement des mousses** **Transferts d'énergie** **Milieux granulaires**	Rhéologie du murissement Evaporation de gouttes Milieu granulaire sous vibration	ESA Scispace
SUBSTANTIELLE	**Programmes inter-disciplinaires** **Energie** **Combustion** **Biophysique**	Diverses propriétés en lien avec les lois fondamentales ou les applications	ESA Scispace, APR

FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY SUPPORTED BY CNES

CNES COMEX



CONSEILLERS DU PDG



Jean-Marc ASTORG
Conseiller du Président



Brice LAMOTTE
Conseiller du Président



Philippe STEININGER
Conseiller Militaire



Pierre TRÉFOURET
Directeur de Cabinet

CHEFS D'ÉTABLISSEMENTS



Carine LEVEAU
Paris Daumesnil



Thierry LEVOIR
Centre spatial de Toulouse



Philippe LIER
Centre Spatial Guyanais



Liliane SEBAS
Paris Les Halles

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

cnes

FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY SUPPORTED BY CNES

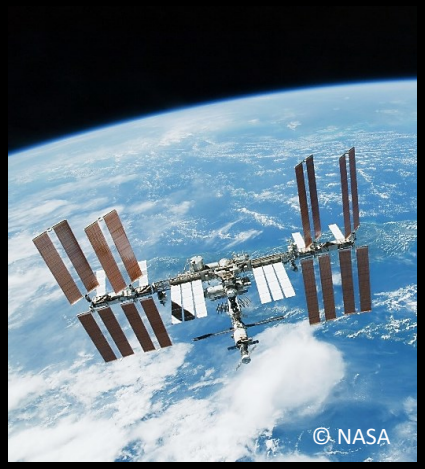
Science structuring & reporting

Comité des Programmes Scientifiques (CPS)
Pres.: Jean-Marie Hameury (DR CNRS, Obs. Astr. Strasbourg)

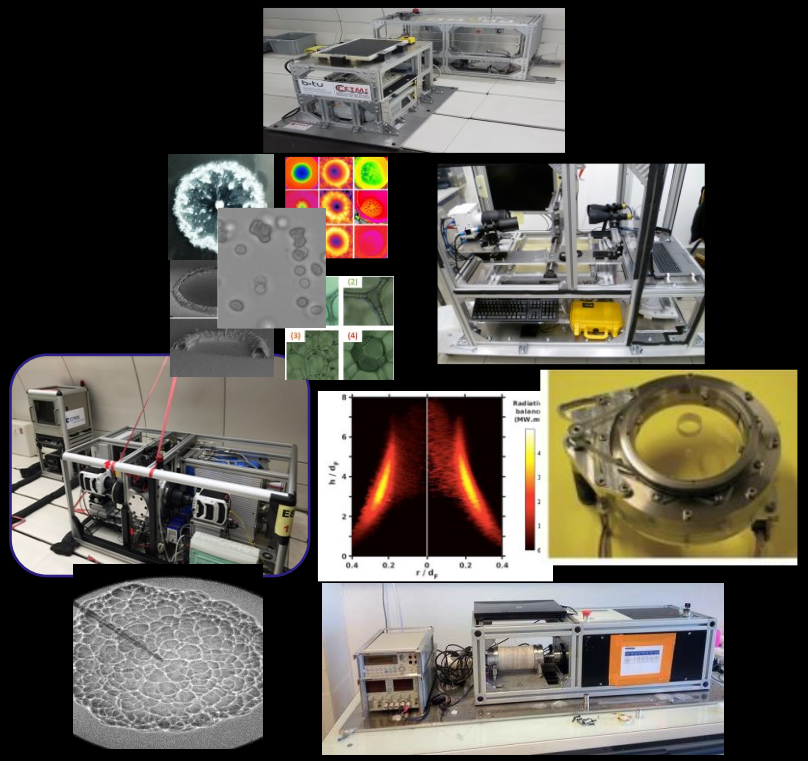
Comité d'Evaluation sur la Recherche et l'Exploration Spatiales (CERES)
Pres.: Nabila Abghanim (DR CNRS, Inst. Astrophys. Spatiale Orsay)

Groupe de travail Sciences de la Matière (GT SdM)
Pres.: Régis Wunenburger (PU Sorbonne Univ, Inst. d'Alembert)

FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY SUPPORTED BY CNES











FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY SUPPORTED BY CNES

France participation to ESA projects

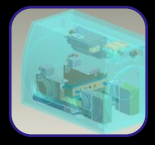
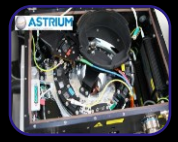
21 ESA Topical Teams

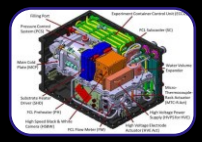
involving more than 27 French scientists supported by CNES

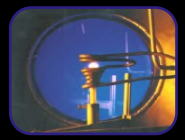
French scientists are coordinator of many projects : RUBI, VIP-GRAN, FOAM-C, BIOMICS, Giant Fluctuation...







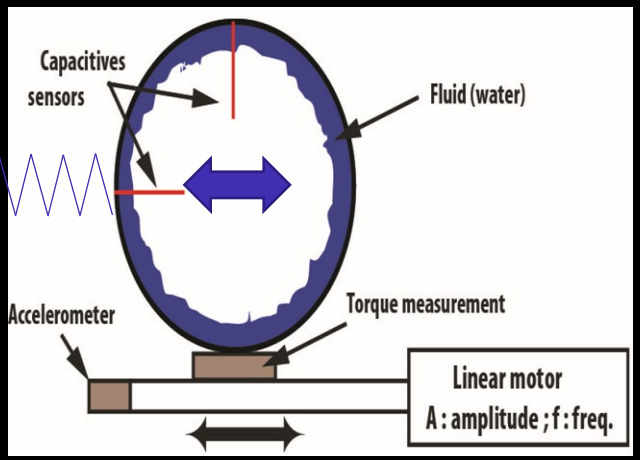



CNES – ESA COOPERATION

FLUIDICS_L - Studying wave turbulence through capillary forcing

Scientific objectives

- Capillary wave turbulence (extended range of frequencies)
- Interface stability at the triple line
- Sloshing



Concept/programmatic

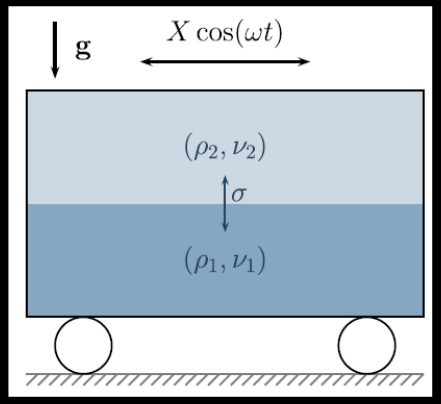
- Linear excitation
- **In phase B**
- Cooperation with ESA

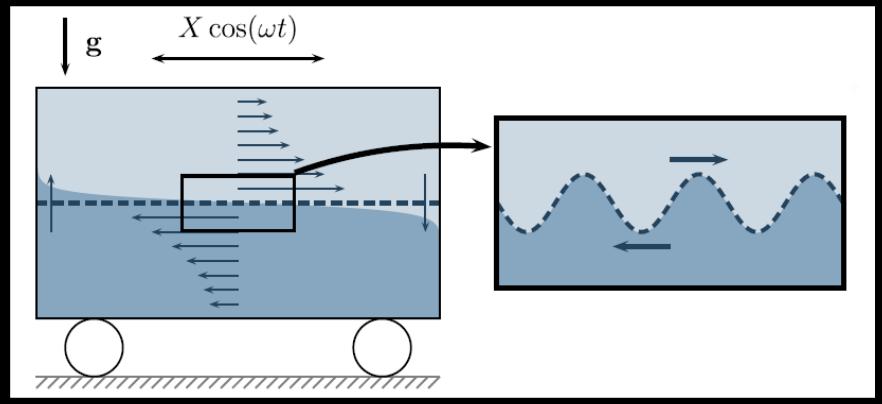
As a follower of FLUIDICS (CNES/ESA)



First experimental demonstration of the theory of wave turbulence

PF EXPERIENCE 2026: FROZEN WAVES



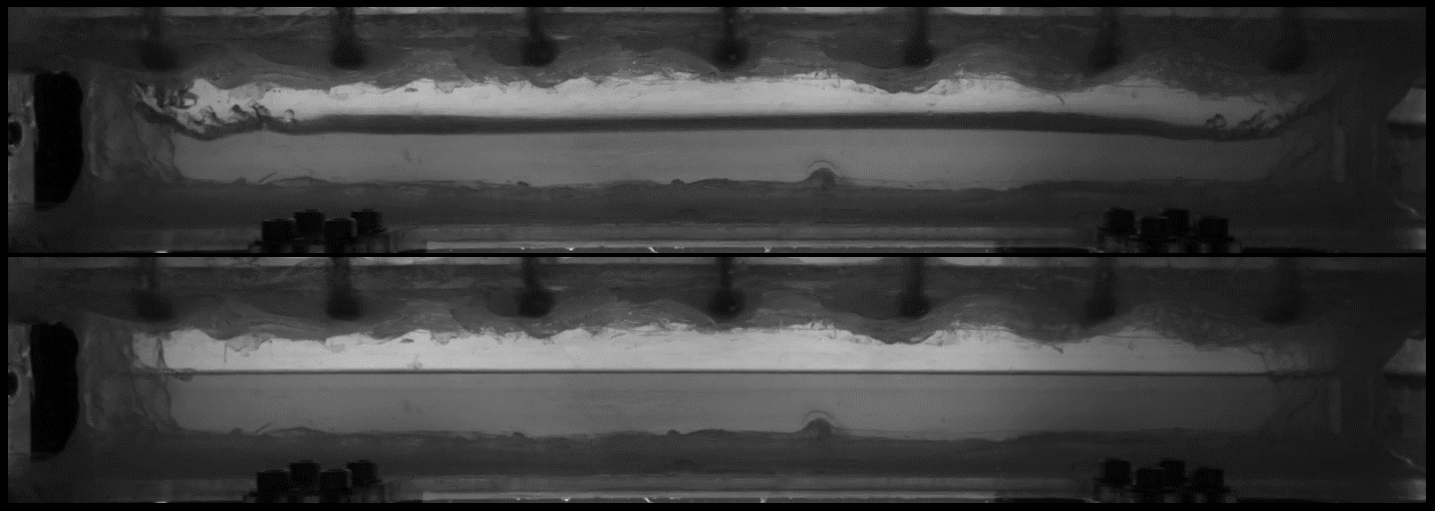






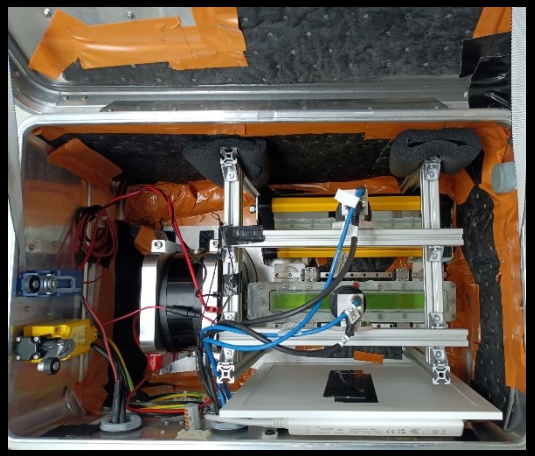
Vol: 0 g

Sol: 1 g



EXPERIENCE 2026: FROZEN WAVES IN MICROGRAVITY

Container: 40x20x250 mm^3,
Forced horizontal vibrations
(typically: 19 Hz or 38 Hz)
Pair of fluids :
1. 50% solution of LST
(aqueous solution – density = 2.85)
+ 2. 50% huile silicone 3cSt



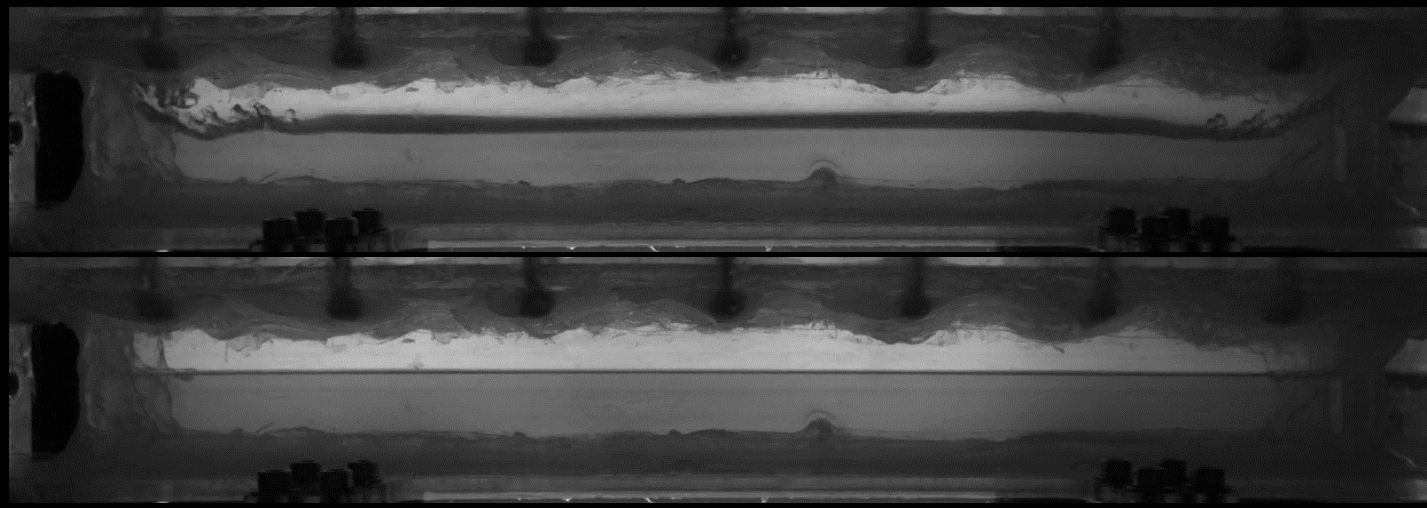


Same forcing conditions

Slow down 7x

0 g

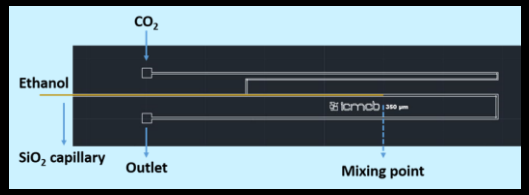
1 g

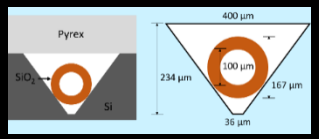


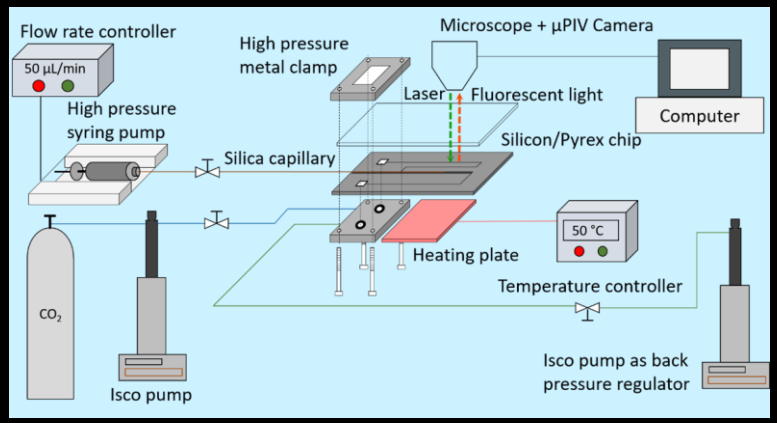
CNES ESA COOPERATION

DECLIC - SCWO : SuperCritical Water Oxydation

Experimental high pressure microfluidics set-up







Sapphire micro-reactor for accessing supercritical water conditions

- P, T capability up to 600° C and 40 MPa
- Including chemical reactivity (experimental and modeling)
- Optical access / Integration of *in situ* characterization techniques (Raman)

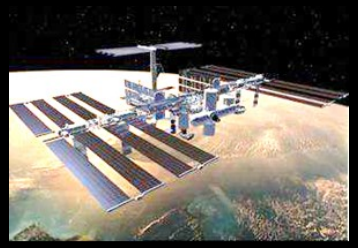
Study for LEO
Phase A conclusion
Still need to increase the TRL of the reactor
Cooperation with ESA but need to consolidate a programmatic context (post-ISS)
In Phase B

CNES – NASA COOPERATION - DECLIC

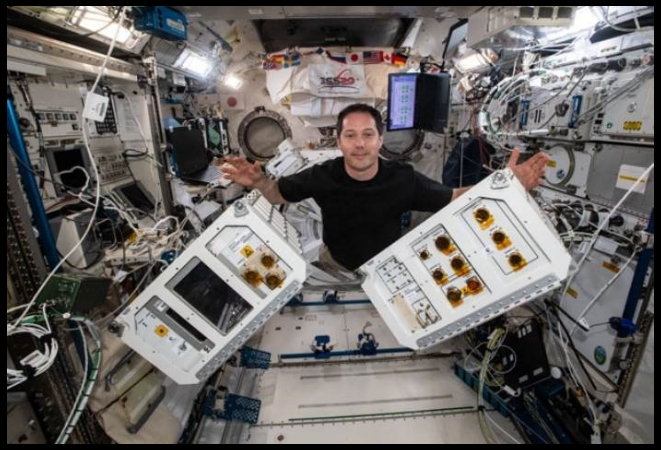
NASA partnerships have commited 15 US and Fr labs (since 2009)

DECLIC, DECLIC-Evolution inserts

- DSI : Directional solidification
- HTI : Supercritical water
- ALI : Fluids at Critical Point



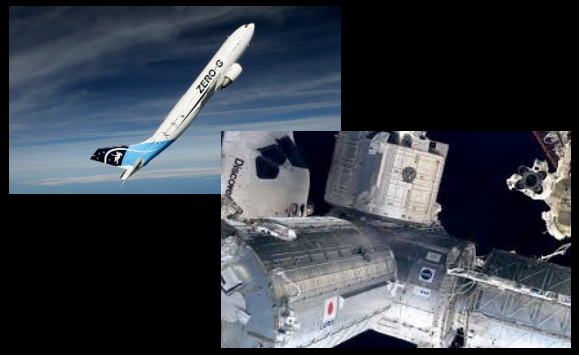




DECLIC reinstalled in the ISS end 2021
After two years of maintenance
and change of end of life items

DECLIC program ended in 2024

CNES - JAXA COOPERATION



FLARE PROGRAM

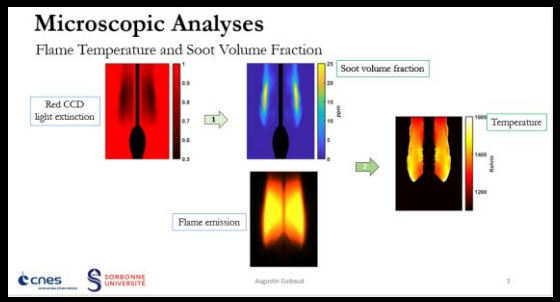
Solid Combustion

Prof. G Legros (Sorboone U) and Prof. O Fujita & Prof. N. Hashimoto (UHokkaido U) work to improve the definition of new fire safety standards for space vehicles

Two steps process :

- DIAMONDS French instrument in zero-G
- SCEM Japanese instrument in KIBO module (operated summer 2026)





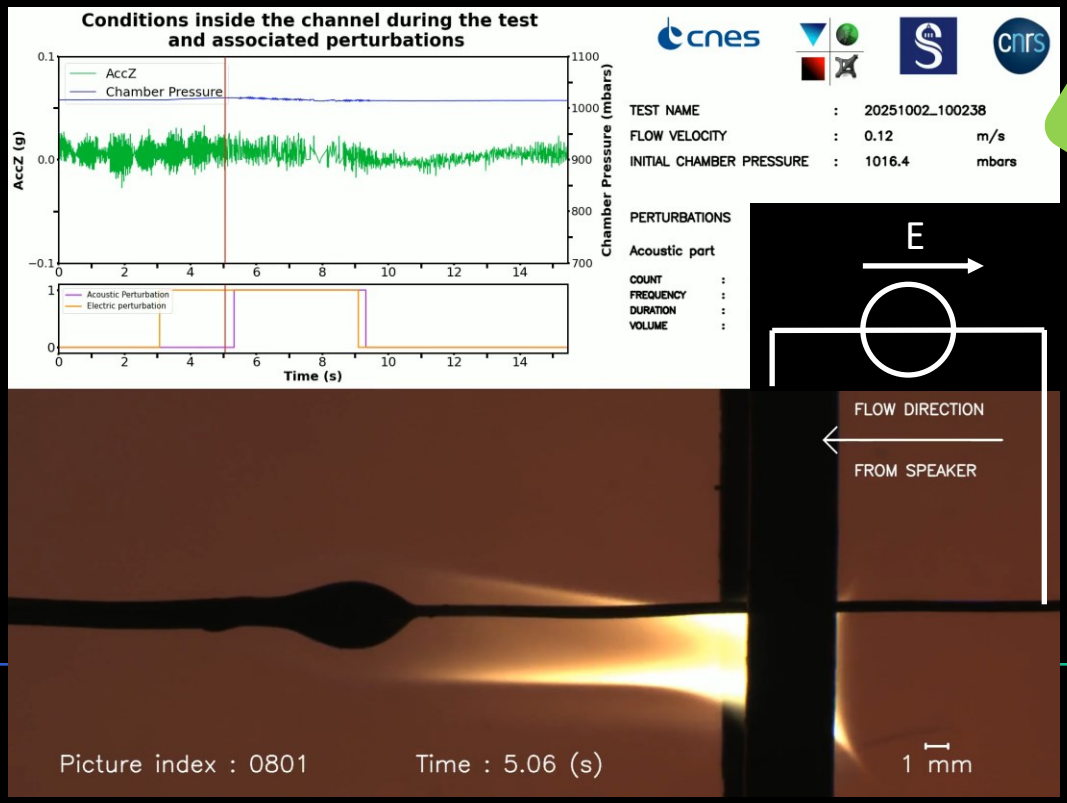


FROM FUNDAMENTALS TO EXPLORATION

Late result in parabolic flights (CNES campaign - Oct 2025):
1st electro-acoustic extinction in microgravity in the UNBURNIT setup for parabolic flights

Context : conditions for the mitigation of a non-premixed flame spread in microgravity ?

Strategy: acoustic perturbation combined with an electric control of the pyrolysis area



October 2025

EUROPEAN AMPLIFICATION

Perspectives: project FireSpace

Context : strategies of passive & active control of flame spread at spacecraft-related conditions

Funding : ERC Synergy Grant 2025 – 13,7 M€ (2026 – 2031)

Consortium : 4 P.I. and their groups



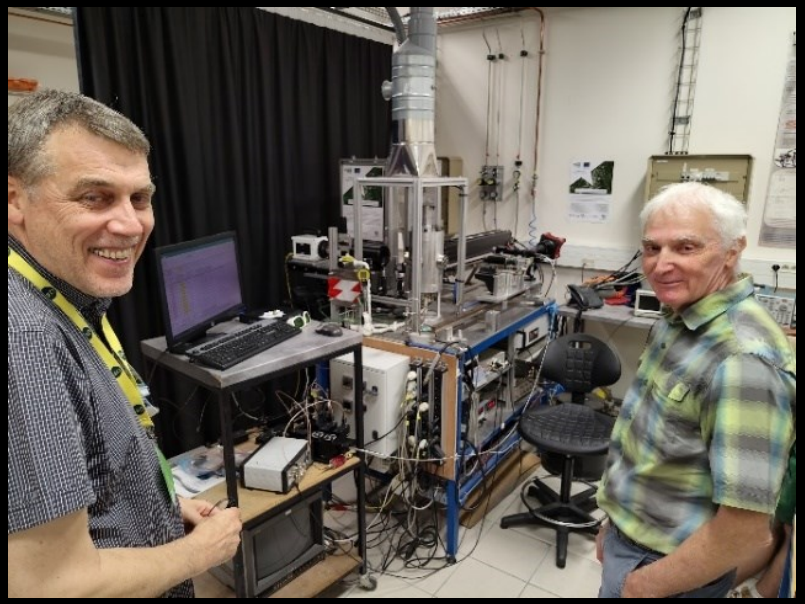
Kickoff meeting of the ERC project FireSpace
CNES headquarters, July 1st 2026, Paris (France)

FROM FUNDAMENTALS TO EXPLORATION

ERC SILEX 2026 - Congrats to Prof F. Halter and his group !

Context : conditions for the power generation through metallic particles' combustion ?

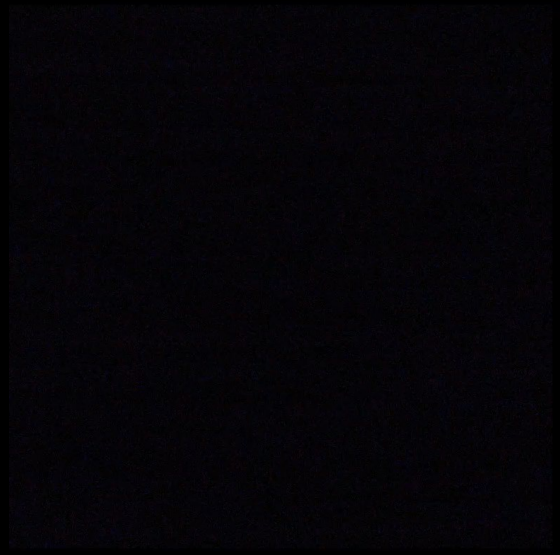
Visite du laboratoire ICARE par C. Mustin, thématicien E2P2 (2 Juillet 2026)



FROM FUNDAMENTALS TO EXPLORATION

ERC SILEX 2026 - Congrats to Prof F. Halter and his group !

Context : conditions for the power generation through metallic particles' combustion ?

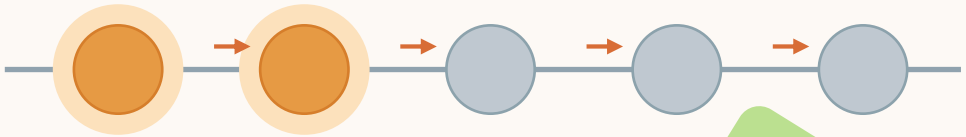


Combustion d'une particule d'aluminium dans l'air
(Crédits: F Halter, ICARE)

02 **Particules métalliques**

PROPAGATION INTER-PARTICULES · COMBUSTION DE GROUPE

TRANSFERTS THERMIQUES + MASSIQUES



Espacement inter-particules variable

ERC 2026

- Identifier les mécanismes de propagation entre particules
- Explorer de nouveaux régimes collectifs : sources de chaleur, phases et produits condensés

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

cnes

POST-ISS CNES - ESA JOINT EFFORTS

- CNES internal meetings start (June this year)
- At a national level: efforts for sustaining the PF knowhow -> potential new airplane in 2029
- At a European level: contribution to ESA LEO autonomous vehicle
- Identification of future collaborations based on current priorities shared with ESA

POST-ISS CNES - ESA JOINT EFFORTS

- ISS status : future de-orbitation & budgets
  - Lower experimental capacity in orbit
  - Shorter crew time dedicated to science

  ⇒ Payload development stopped, or waiting for ISS updates (FLUDICS-L)

  Re-directing to *free flyers*

- Contribution of ‘SdM’ to post-ISS propspectives:
  - CNES seminar in June 2026
  - JAXA Workshop on Sept 11th 2026
  - IMSPG in Bonn on Oct 29th & 30th 2026
  - Science Exploration Workshop in Rome on Nov 25th & 26th 2026



Post-ISS workshop, JAXA (Tokyo, Sept 11th 2026)

COMMENT FAIRE POUR LE POST-ISS ?

Méthode

Questionnaire en amont adressé aux scientifiques
Sur les besoins pour les projets en cours et futurs

Mettre les acteurs autour de la table
Pour définir les axes de réflexions et les actions à mener

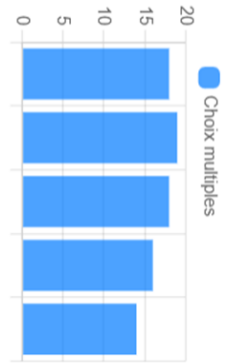
Objecti f

Aboutir à une « feuille de route »
Incluant tous les acteurs pour préparer l'avenir



QUESTIONNAIRE (3/3)

- ❑ Préparer les expériences et conditionner les échantillons c'est disposer de facilités



Préparer les échantillons

Intégrer les échantillons pour le vol

Tester/valider les dispositifs de vol

Ground reference experiment

Récupération des échantillons pour analyses post-vol

- ❑ Retour d'échantillon (obligatoire pour ~ 40 % des projets)
- ❑ Système de microfluidique envisagée dans > 50 % des projets
- ❑ Paramètres d'atmosphère & gaz autour de l'échantillon est importante pour 50 % des projets
- ❑ > 75 % des projets seront des dispositifs de petite taille (< 24 unités) compatibles avec des missions d'opportunités et/ou mutualisables

Séminaire de prospectives Post-ISS

CNES 24-25 juin 2026

Salle de l'espace – Siège du CNES



Nom	Prenom	Organisme	GT/agence	Groupe (1-3)
Koch Gauquelin	Guillemette	CNES	CNES	1
Le Metayer	Pierre	CNES	CNES	
Cottin	Hervé	LISA	E2P2	
Coussot	Gaëlle	Université de Montpellier	E2P2	
Akamatsu	Silvère	Sorbonne Université	SdM	
Reinhart	Guillaume	IM2NP - Aix Marseille	SdM	
Cioni	Olivier	CEA Grenoble	SdV	
Custaud	Marc-Antoine	CHU d'Angers	SdV	
Assaiante	Christine	CNRS	SdV	
Przybyla	Cyrille	IFREMER	SdV	
Vigneron	Pierre-Antoine	Supbiotech	SdV	
Baudequin	Thimothée	UTC	SdV	
Mustin	Christian	CNES	CNES	2
Chaput	Didier	CNES CADMOS	CNES	
Azamard	Clara	LISA	E2P2	
Nguyen Thi	Henri	IM2NP - Aix Marseille	SdM	
Colin	Catherine	Toulouse INP	SdM	
Misbah	Chaouqi	UdeClermont Auvergne	SdM	
Le Ray	Didier	CNRS	SdV	
Ricchetti	Miria	Institut Pasteur	SdV	
Gai	Frédéric	Novespace	SdV	
Carnero-Diaz	Eugénie	Sorbonne Université	SdV	
Morel	Jean-Luc	UdeBordeaux	SdV	
Legué	Valerie	UCA	SdV	
Emmery	Pierre	CNES	CNES	3
Stalport	Fabien	LISA	E2P2	
Kish	Adrienne	MNHN	E2P2	
Vincent-Bonnieu	Sébastian	ESA ESTEC	ESA	
Bottin-Rousseau	Sabine	Sorbonne Université	SdM	
Berhanu	Michael	UParis-Cité	SdM	
Yates	Franck	SupBiotech	SdV	
Moreau	Solène	CEA Grenoble	SdV	
Aider	Jean-Luc	ESPCI PSL	SdV	
Maillet	Alain	MEDES	SdV	
Decourteix	Melanie	UdeClermont Auvergne	SdV	
Pereda	Véronica	UdeToulouse	SdV	

Une présence significative des chercheuses et chercheurs impliqué.e.s

- 43 Participant.e.s invité.e.s par les responsables des GTs E2P2, SdV, SdM sous le critère d'avoir déjà participé dans des expériences sur l'ISS
  - Scientifiques et représentants des organismes publics de recherche (CNRS, INRAE, universités)
  - Agences (CNES, ESA 'Exploration Enabled' et 'Exploration Focussed') et filiales (CADMOS, MEDES)
  - Noyau initial pour lancer les discussions, en vue d'une expansion vers le reste de la communauté par la suite

- 3 sous-groupes formés pour mélanger les expertises/points de vue et favoriser des échanges interdisciplinaires pendant 3 sessions de travail

SESSIONS DE RÉFLEXION : LA SCIENCE SPATIALE DANS LE CADRE DU POST-ISS

LES POINTS DE CONVERGENCES DES DISCUSSIONS

Session 1: Identification des opportunités interdisciplinaires
plateformes, destinations, segments sol

Session 2 : Identification des points communs interdisciplinaires
Besoins techniques, instruments et mesures partagés

Session 3 : « Feuille de route » Post-ISS
Réflexions stratégiques

Thèmes
Microfluidique/Bulles d'air
Coordination inter-agences
Interdisciplinarité
Base données connaissances/expériences
Hardware commun/reproductible
Formation nouveaux acteurs
Radiations/Microgravité
Communication communauté non-spatiale

#	Recommandation	Justification	Acteurs concernés
R1	**Maintenir orbite basse comme référence** : Ne pas l'abandonner malgré les limites en radiations ; elle reste essentielle pour les longues phases de microgravité avec retour d'échantillons	Continuité d'accès, retour d'échantillons, conditions contrôlées	ESA, CNES
R2	**Investir dans Space Rider** : Multiplier les opportunités sur orbites variées, réserver des places pour la communauté scientifique française	Transition post-ISS, retour d'échantillons, autonomie	CNES
R3	**Préserver le retour d'échantillons** : Exiger cette capacité dans toutes les futures plateformes ; développer des solutions pour grands volumes (plantes, liquides)	Perte scientifique sans retour ; incompatibilité actuelle avec grands volumes	CNES, ESA
R4	**Structurer l'interdisciplinarité** : Créer des échanges permanents entre GTs E2P2, SdV et SdM ; instrumentation des missions pour les expériences en orbite ; identifier et travailler sur problématiques communes ; atelier annuel	Cloisonnement actuel, problématiques communes identifiées	CNES GTs, scientifiques
R5	**Exploiter la période transitoire** : Utiliser au mieux tous les moyens disponibles (vols paraboliques, tours, fusées-sondes, ISS, simulateurs)	Préparation des futures expériences, tests techniques, données préliminaires	Tous
R6	**Créer un site web pour les utilisateurs scientifiques** : Informations claires sur les opportunités, appels d'offre visibles, procédures accessibles	Information fragmentée, nouveaux entrants découragés	CNES, ESA (liens entre les deux agences)
R7	**Ne pas négliger le segment sol** : Homogénéiser les RPM, exploiter les 'ground-based facilities', coordonner via le CADMOS	Hétérogénéité actuelle, sous-utilisation	CADMOS, universités
R8	**Développer le concept d'écosystème clos modulaire** : Système complexe fractionnable selon discipline, standardisé	Cadre méthodologique pour l'interdisciplinarité	CADMOS, CNES R&T, scientifiques, (lié avec ESA)
R9	**Anticiper l'automatisation** : Investir dans le développement instrumental pour expériences sans astronaute à la base des besoins scientifiques en commun	Transition vers Space Rider et plateformes futures	CNES R&T, CADMOS
R10	**Standardiser le matériel** : Utiliser les mêmes hardwares entre plateformes (vols paraboliques, ISS, navettes, Space Rider) à la base des besoins scientifiques	Reproductibilité, comparabilité des résultats	Scientifiques, CADMOS, CNES R&T, ESA, industriels
R11	**Renforcer la coordination ESA-CNES** : Plus de dialogue entre CNES, ESA, et les scientifiques	Manque de clarté dans les actions en cours/à faire dans la transition post-ISS	CNES, ESA, scientifiques
R12	**Formaliser le retour d'expérience** : Créer une base de données HW (succès, échecs, solutions techniques) accessible à la communauté	Apprentissage collectif, évitement des erreurs répétées	CADMOS, (similaire à HREDA de l'ESA)

ABOUTIR UNE FEUILLE DE ROUTE « POST-ISS »

Meilleure coordination
CNES et ESA
(assurer un retour vers les scientifiques)

Nouvelle journée de travail
(sur les retours d'expériences et les avancées)
En évitant le début d'été

SPS2028

Identification claire
des APR &
moyens/facilities/ sites
CNES et ESA
(deadlines, templates, contacts)

Intéresser la communauté
non spatiale
(via les équipements sol)

Besoin de visibilité
- ✓ Vols paraboliques
- ✓ Ballons stratosphériques
- ✓ Fusées sondes

(ce qu'on peut y faire et comment)

Coordination CADMOS

Systèmes de mesure
Imagerie, spectro,...
Systèmes d'expérimentation
RPM, clinostat
où, lesquels, pourquoi
Microfluidique
Journée bulle,
dispositifs existants/commun?

Identification des questions scientifiques
- ✓ Quels modèles ? (vivant/matériaux)
- ✓ Quels systèmes ? (clos/complexes)
- ✓ Interactions « habitat/vivant »
- ✓ Éthique

LA SUITE DE L'ATELIER (EN COURS)

1. Présentations CERES (24/09), ESA LSWG (13/10)
2. White Paper (CNES, scientifiques, ESA)
3. Atelier Européen (demande ESA Topical Team « Post-ISS » en cours d'évaluation)
4. Implémentation des actions recommandées avec le CNES (ouvrir plus largement à la communauté française)
5. SPS 2028

REMINDER

PRIORITIES IDENTIFIED

FOR THE FLUID & MATERIAL SCIENCES IN MICROGRAVITY

Prospective Science

	Objectif scientifique	Type de mesure/Observable	Cadre de réalisation
MAJEURE	**Micro-physique des nuages**	Condensation de l'eau et influence de la turbulence	DECLIC_EVO – Insert AEROSOL Phase A au CNES Programmatique à travailler NASA/ESA, post-ISS
MAJEURE	**Combustion bas carbone**	Combustion de matière organique dans l'eau supercritique	DECLIC_EVO – Insert SCWO Phase A au CNES Programmatique à travailler NASA/ESA, post-ISS
MAJEURE	**Etude des grandes échelles en turbulence d'ondes**	Dynamique d'interface	FLUIDICS_L Phase A au CNES Coopération ESA
SUBSTANTIELLE	**Murissement des mousses** **Transferts d'énergie** **Milieux granulaires**	Rhéologie du murissement Evaporation de gouttes Milieu granulaire sous vibration	ESA Scispace
SUBSTANTIELLE	**Programmes inter-disciplinaires** **Energie** **Combustion** **Biophysique**	Diverses propriétés en lien avec les lois fondamentales ou les applications	ESA Scispace, APR