

Prospective du groupe Atmosphère

J-L Attié, P. Chambon (Président entrant), F. Chevallier, A. Colette,
L. Croizé, J. Cuesta, A. Dabas (Président sortant),
C. Deniel (Resp. de thème), A. Deschamps (Resp. de thème),
C. Di Baggio, A. Hertzog, F. Jégou, L. Joly, L. Labonnote,
T. Lauvaux, C. Mallet, N. Philippon, J. Rieidi, M. Saunois,
F. Szczap, J. Vidot, S. Turquéty

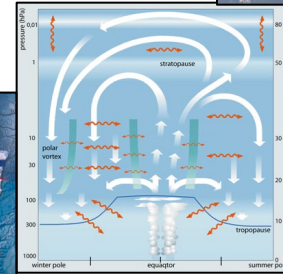
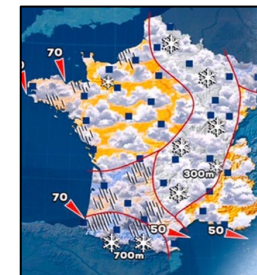
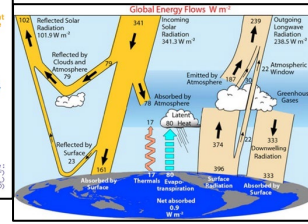
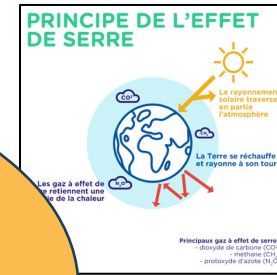
La thématique Atmosphère

Observer, étudier et comprendre les processus atmosphériques sur des gammes d'échelles très vastes, en interaction avec les autres compartiments du système Terre.

Evolution du climat
en lien avec les gaz à effet de serre (H₂O, CO₂, CH₄, O₃, N₂O), les aérosols et les nuages

Qualité de l'air
en lien avec la pollution atmosphérique, les espèces règlementées (NO_x, SO₂, O₃, CO, COV, PM_{2.5}, PM₁₀...) et les aérosols

Phénomènes météorologiques exceptionnels et dangereux
Orages, pluies diluviennes, tempêtes, cyclones, canicules, vagues de froids



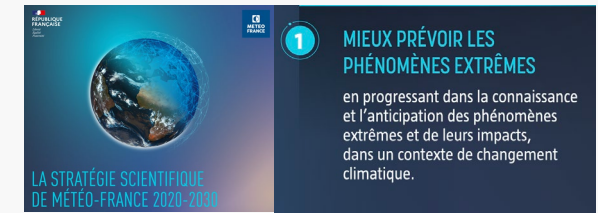
Les questions scientifiques

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

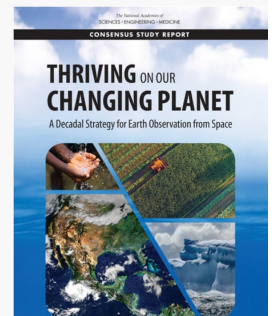
Les questions scientifiques

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

Des liens directs avec cinq des défis scientifiques identifiés dans la prospective 2023-2028 de l'INSU ainsi que la stratégie scientifique d'autres organismes telle que celle de Météo-France.



Des questions aussi portées par la communauté internationale, à travers plusieurs groupes et comités tels que le GIEC, le CEOS, le CGMS ainsi que l'académie des sciences américaines à travers le Decadal Survey 2017-2027.



Les questions scientifiques

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

Des missions en développement (ou tout juste lancées) dans le domaine Atmosphère qui vont contribuer à répondre ces questions.

Cadre CNES et bilatéral :



Cadres européens :



=> Les enjeux à venir vont se porter sur les composantes suborbitales (campagnes avion et/ou ballon) pour valider et compléter ces missions, et pas seulement sur les nouveaux projets spatiaux.

Les questions scientifiques

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

⇒ Des questions aux priorités majeures de missions

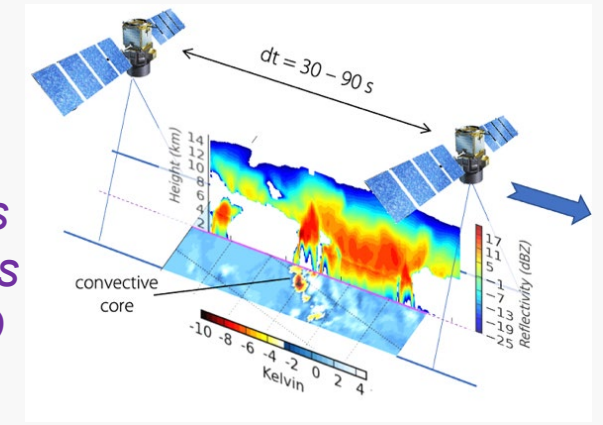
Des questions aux priorités majeures

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. **Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?**
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. **Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?**

Dynamique de la convection, C2OMODO/AOS:

⇒ La dynamique interne de la convection profonde est encore mal documentée à l'échelle globale, en particulier le flux de masse convectif, avec très peu de références observationnelles.

Tandem de radiomètres micro-ondes C2OMODO

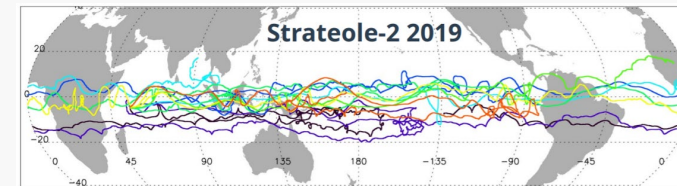


	Observable	Cadre de développement	Recommandation
Mission cadre CNES	Flux de masse	C2OMODO/AOS	Engagement programme AOS incluant le tandem de radiomètres

Des questions aux priorités majeures

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. **Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?**
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

StratoFleet: Surveillance haute-résolution de la tropopause tropicale, porte d'entrée de la moyenne atmosphère



- (i) **Mieux comprendre les interactions (ou couplages?) entre processus physiques, dynamique et électriques et contribuer à leur validation dans les modèles de climat**
- (ii) **Appréhender les interactions d'échelles : saison/QBO vs processus de petites échelles**
- (iii) **Documenter les évènements marquants : feux, éruptions.**

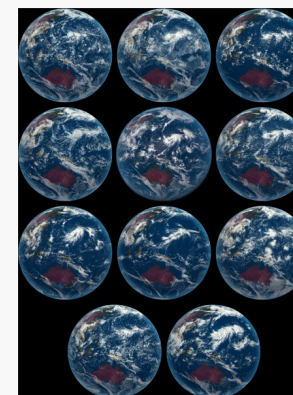
	Observable	Cadre de développement	Recommandation
Mission cadre CNES	Multi variables	StratoFleet (héritage Stratéole)	Nouveau programme ballons

Des questions aux priorités majeures

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
- 5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?**
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

CMIM (Constellation de Mini sondeurs pour la Météorologie)

⇒ Certains processus atmosphériques vont nécessiter des observations à haute résolution et à haute cadence temporelle pour initialiser les modèles numériques de prévision de future génération : constellation et synergie Infrarouge / Micro-ondes.



(Stevens et al., 2019)



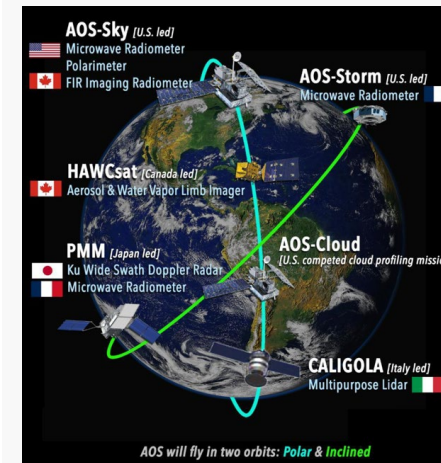
	Observable	Cadre de développement	Recommandation
Mission cadre ESA et autres	Température, Humidité	CMIM (Phase 0 CNES)	Passage en Phase A et recherche d'un cadre EUMETSAT

Des questions aux priorités majeures

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

Spéciation des aérosols, CALIGOLA/AOS:

⇒ Nécessité pour caractériser les impacts des aérosols sur la composition de l'atmosphère, depuis la surface jusqu'à la haute troposphère / basse stratosphère et le bilan radiatif.



(NASA)



(ASI)

	Observable	Cadre de développement	Recommandation
Missions cadre ESA et autres	Spéciation des aérosols	CALIGOLA / AOS	Accompagnement mission ASI/NASA

Les questions scientifiques

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

⇒ Des questions aux priorités substantielles de missions

Des questions aux priorités substantielles

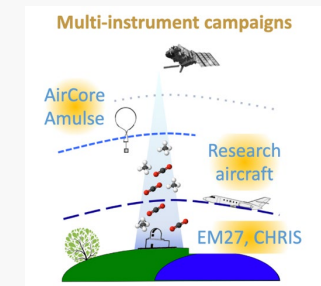
1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. **Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?**

MAGIC / IASI-NG et Sentinel 5p suborbital

⇒ Besoin de mieux documenter la variabilité des GES dans des régions du globe où les sources et puits sont peu ou mal connus afin de valider les missions spatiales actuelles et à venir (MicroCarb, MERLIN, IASI-NG...).



(CNRS Photothèque)



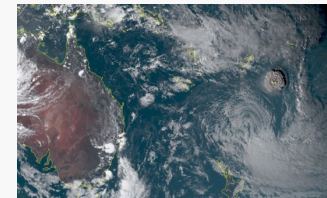
	Observable	Cadre de développement	Recommandation
Campagne de mesures	Multi-variables	MAGIC IASI-NG et Sentinel 5p suborbital	Soutien aux activités de validation via campagnes de mesures dans les tropiques et les hautes latitudes

Des questions aux priorités substantielles

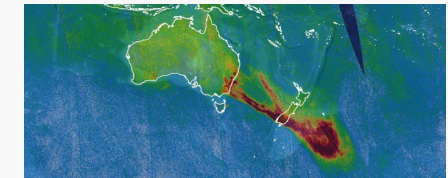
1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

AOS suborbital:

⇒ En complément du futur observatoire international AOS, besoin de développer un volet dédié aux mesures in situ pouvant fournir une spéciation chimique détaillée des aérosols et des gaz précurseurs, embarqués sous ballon, aéroportés ou sur un site depuis le sol, au sein du programme suborbital AOS.



(JAXA)



(De Smedt et al., 2021)

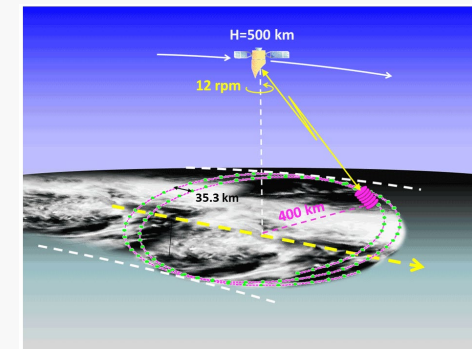
	Observable	Cadre de développement	Recommandation
Campagne de mesures	Multi-variables	AOS suborbital	Engagement d'un programme suborbital CNES AOS

Des questions aux priorités substantielles

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. **Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?**
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. **Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?**

Dynamique de la convection, WIVERN:

⇒ En complément des observations de C2OMODO/AOS qui seront reliées aux mouvements ascendants/descendants dans les nuages, les observations de WIVERN permettront de documenter les vents horizontaux au cœur des nuages et des précipitations.



Radar Doppler WIVERN

(Battaglia et al., 2022)

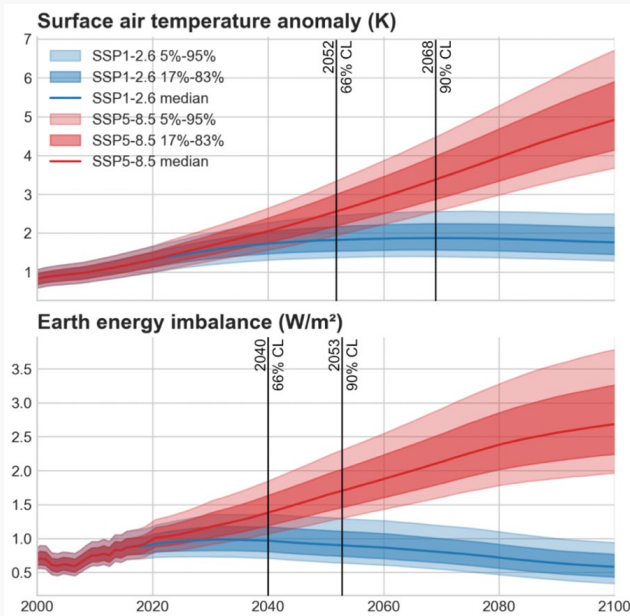
	Observable	Cadre de développement	Recommandation
Mission cadre ESA et autres	Vents	WIVERN (Phase A EE11)	Accompagnement mission ESA

Des questions aux priorités substantielles

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. **Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?**

ECO

Le « déséquilibre » énergétique de la Terre (EEI), est l'indicateur clé pour le suivi de notre climat.



⇒ **ECO mesurerait l'EEI directement pour la 1ère fois et permettrait de révéler la trajectoire future du climat des décennies plus tôt qu'en se basant sur la température globale.**

Scenario avec des réductions drastiques des émissions de GES compatibles de l'accord de Paris.
Scenario sans réductions drastiques des émissions de GES

	Observable	Cadre de développement	Recommandation
Mission cadre ESA et autres	Earth Energy Imbalance	ECO (Phase 0 EE12)	Accompagnement mission ESA

Les questions scientifiques

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

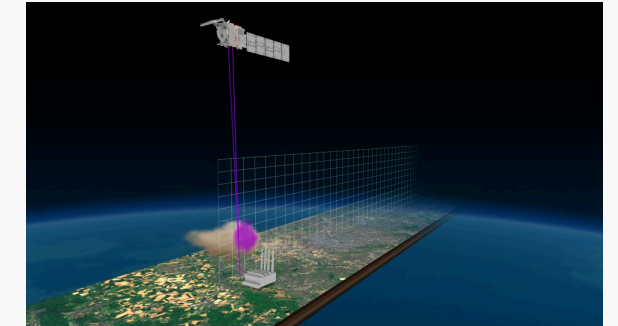
⇒ **Recherches sur
l'instrumentation de
demain**

Recherches sur l'instrumentation de demain

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

Lidars spatiaux

⇒ Besoin important en recherches autour des technologies lidars pour différentes applications (besoin commun à la mesure de GES et mesure des aérosols) afin que ce type d'instrumentation puisse être proposé dans divers cadres programmatiques de manière plus aisée dans l'avenir.



(www.esa.int)

Recherches sur l'instrumentation de demain

1. Comment affiner notre connaissance du cycle des gaz à effet de serre grâce aux observations spatiales ?
2. Comment mieux caractériser la pollution atmosphérique et suivre la qualité de l'air ?
3. Comment se forment et se développent les nuages en fonction de leur environnement ?
4. Quelles interactions entre les processus atmosphériques de grandes et de petites échelles ?
5. Comment mieux observer l'atmosphère pour améliorer la prévision météorologique ?
6. Comment évolue le bilan radiatif de notre planète dans un contexte de changement climatique ?

Concepts agiles haute résolution

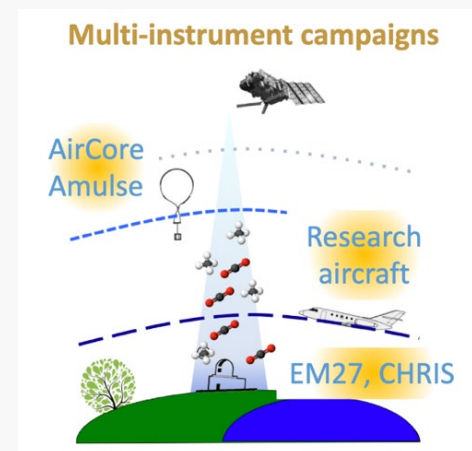
⇒ Besoin de quantifier les émissions anthropiques de GES et si possible les attribuer. Recours à des missions « agiles », à très haute résolution spatiale (quelques centaines de mètres) telles que le permettent les capteurs hyperspectraux.



Pôle de données

Importance du Pôle Aeris et de l'Infrastructure de Recherches Data Terra pour pouvoir relever les défis scientifiques de demain :

- Calcul, traitement, stockage, distribution des données des futures missions caractérisées par **une complexité et des volumes de données accrus**.
- Place croissante du pôle dans le **traitement opérationnel** des missions spatiales du CNES (Microcarb, C3IEL, AOS)
- Besoin grandissant d'un accès facilité aux données pour exploiter au mieux les capacités de traitement de l'**Intelligence Artificielle**.
- Accompagnement des futures **campagnes de mesures** et mise à disposition des données.
- Enjeu de **positionnement/visibilité** du pôle dans le **paysage européen** (ex : rôle du CNES pour faciliter les interfaces avec l'ESA)



Synthèse des recommandations

	Observable	Cadre de développement	Priorité	Recommandation
Missions cadre CNES et bilatéral	Multi variables	StratoFleet	Majeure	Nouveau programme ballons
	Flux de masse	C2OMODO/AOS	Majeure	Engagement programme AOS incluant le tandem de radiomètres
Missions cadre ESA et autres	Température, Humidité	CMIM (Phase 0 CNES)	Majeure	Passage en Phase A et recherche d'un cadre programmatique EUMETSAT
	Spéciation des aérosols	CALIGOLA / AOS	Majeure	Accompagnement mission ASI/NASA
	Vents	WIVERN (Phase A EE11)	Substantielle	Accompagnement mission ESA
	Earth Energy Imbalance	ECO (Phase 0 EE12)	Substantielle	Accompagnement mission ESA
Campagnes de mesures	Multi-variables	AOS suborbital	Substantielle	Engagement d'un programme suborbital CNES AOS
	Multi-variables	MAGIC IASI-NG et Sentinel 5p suborbital	Substantielle	Soutien aux activités de Cal/Val via campagnes dans les tropiques et hautes latitudes

