

COMET INTERCEPTOR

“A Mission to a Dynamically New
Solar System Object”

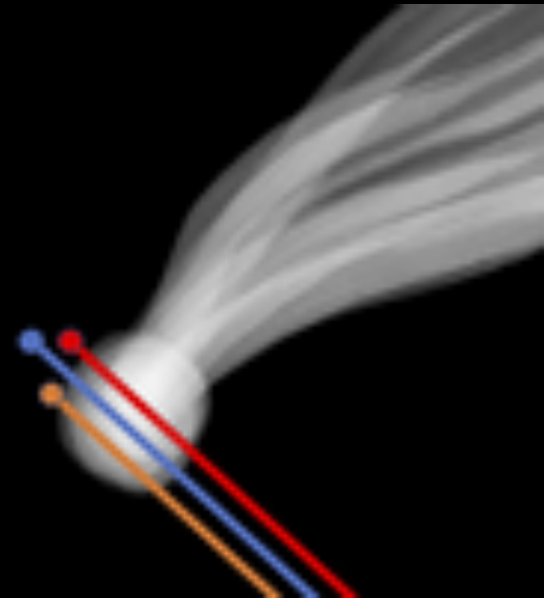
Pierre HENRI (LPC2E & Lagrange)

Nicolas ANDRÉ (IRAP)

Olivier GROUSSIN (LAM)

Philippe GARNIER (IRAP)

Aurélie GUILBERT-LEPOUTRE (LGLTPE)



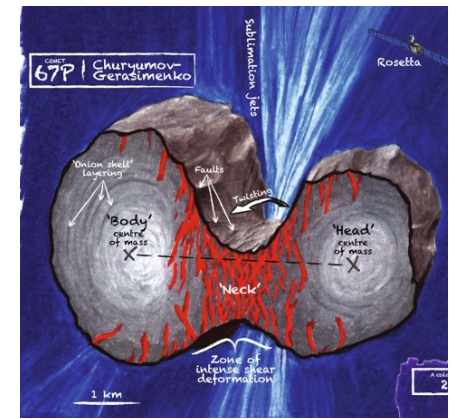
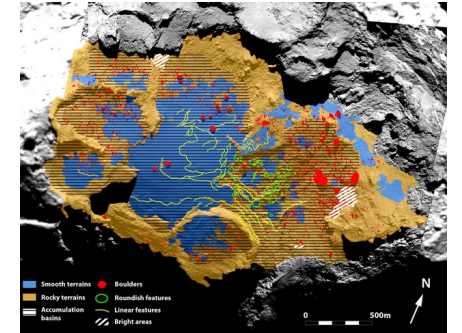
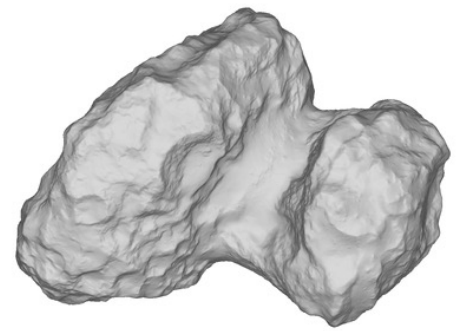
Comet Interceptor :

Contexte scientifique et programmatique

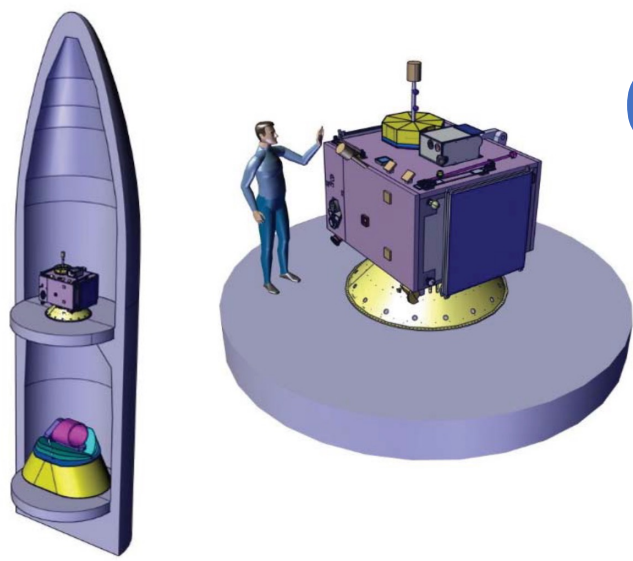
- Succès de la mission cométaire **Rosetta** (leadership européen physique cométaire)
- **Questions ouvertes :**
 - *Structure et composition* : Impact des passages répétés dans le système solaire interne
→ **besoin de cibler une comète nouvellement active.**
 - *Dynamique* :
 - influence vent solaire dynamique → **besoin mesures multi-points.**
 - formation / disparition d'une magnétosphère induite (cf. Mars / Venus),
 - Plasma noncollisionnel vs. collisionnel (plasma-neutre)
 - Plasma poussiéreux
- **Call F** de l'ESA → Comet Interceptor pré-sélectionnée

Objectifs scientifiques

- 1^{ère} étude d'un **objet primitif** (genèse du système solaire et des systèmes planétaires)
- 1^{ères} mesures **multipoints** de l'**interaction d'une comète avec le vent solaire** (*unique précédent en planétologie: BepiColombo – autre collaboration ESA-JAXA*)
- **Etude du noyau** : reconstruction 3D, géologie et morphologies de surface, propriétés photométriques, propriétés thermiques **[CoCa, MANIAC]**
- **Etude de la coma** : composition chimique, rapport isotopique, activité, étude de la poussière et de la composition du gaz et du plasma cométaire **[CoCa, MANIAC, LEES, COMPLIMENT]**
- **Etude des interactions avec le vent solaire** : ionosphère cométaire, formation d'une magnétosphère induite. **[LEES, COMPLIMENT]**

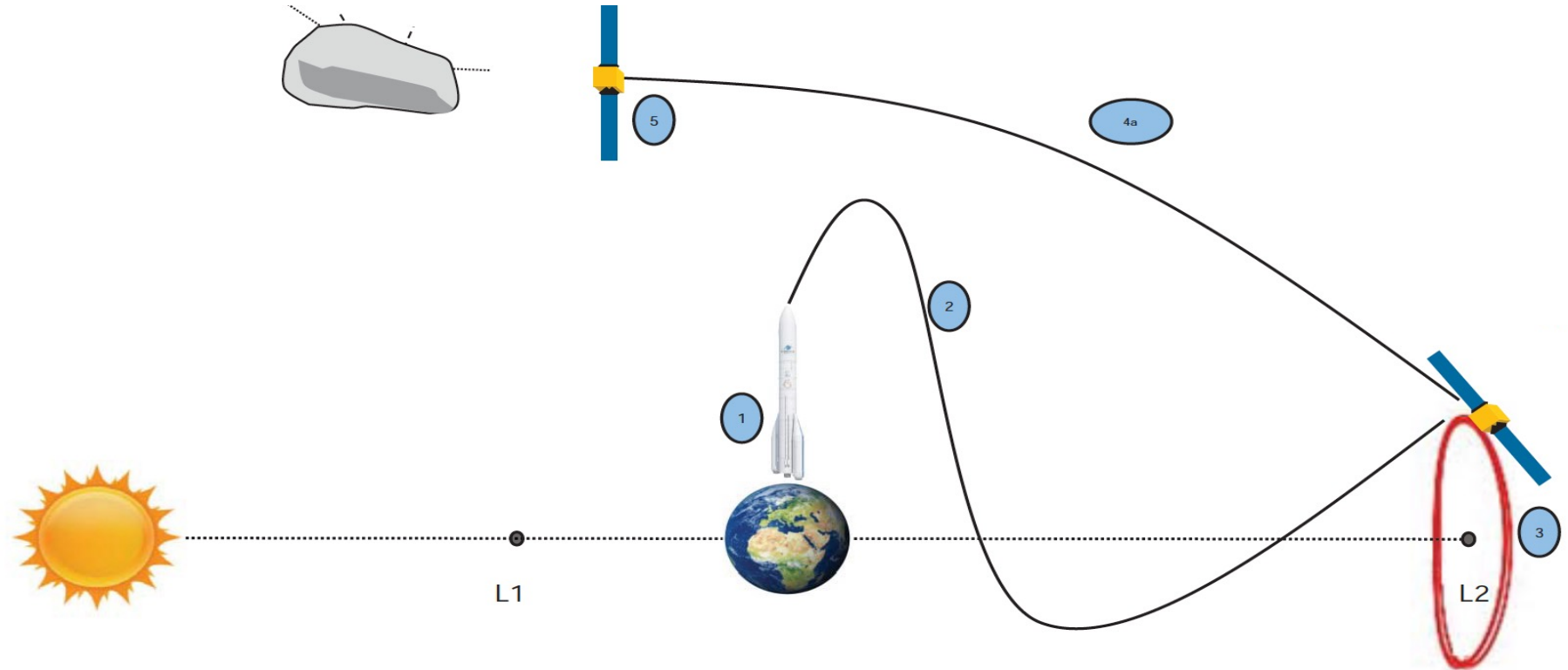


Operations de Comet Interceptor (1/2)

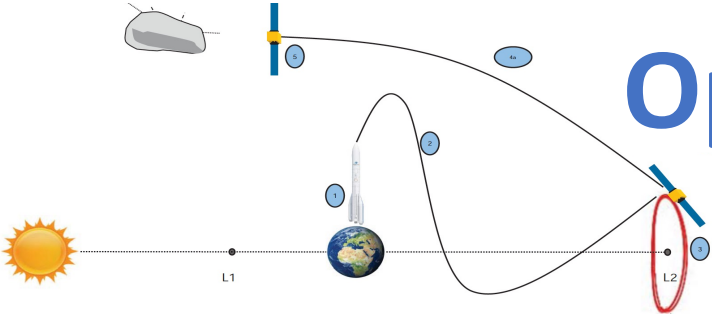


[Vu de ARIEL et Comet Interceptor sous la coiffe d'Ariane 6 – CDF ESA]

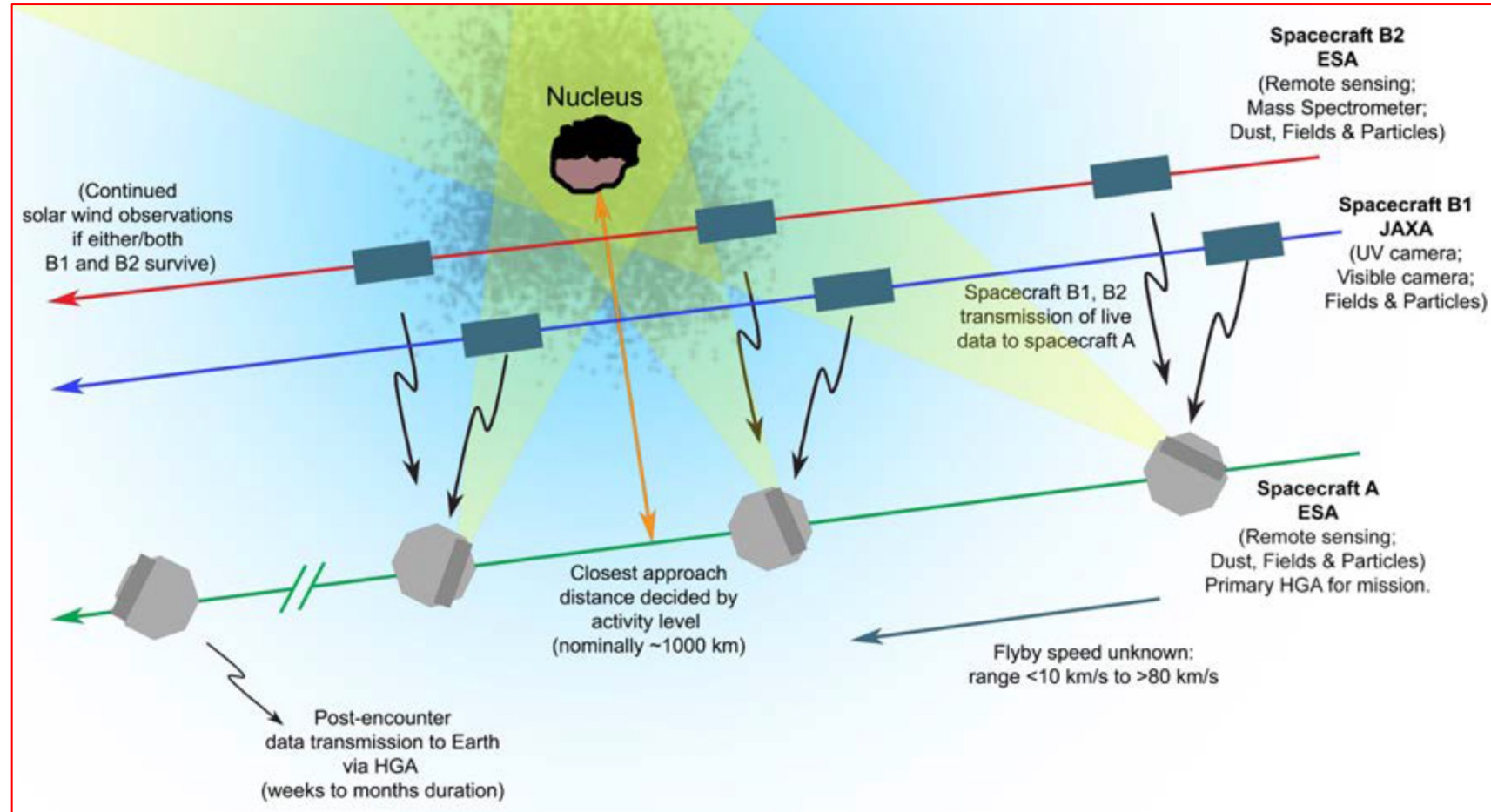
- 1) Lancement en 2029 en piggyback d'ARIEL
- 2) Transfert en L2
- 3) Parking
- 4) Croisière
- 5) Fly-by



Operations de Comet Interceptor (1/2)



Représentation du fly-by multi-points

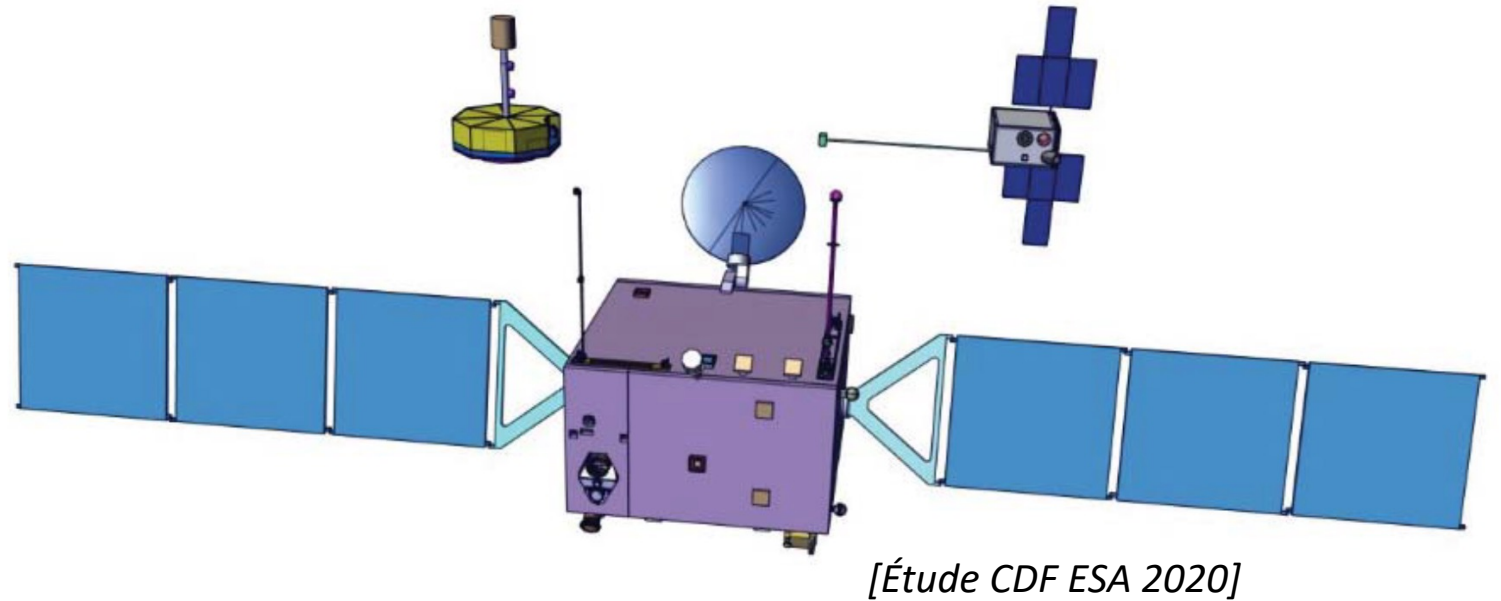


- 1) Lancement en 2029 en piggyback d'ARIEL
- 2) Transfert en L2
- 3) Parking
- 4) Croisière
- 5) Fly-by

Comet Interceptor : Organisation

Mission multi-satellites :

- 1 sonde “*mère*” (A)
- 2 sondes “*filles*” (B1 / B2)



Organisation :

- L'**ESA** pilote la mission, le développement de la sonde *mère* et de l'une des deux sondes *filles*,
- La **JAXA** fournit l'autre sonde *fille*.
- Des consortiums instrumentaux, impliquant les **agences spatiales nationales**, sont responsables du développement et de la livraison à l'ESA et à la JAXA des instruments.

Contributions et visibilité françaises au sein du projet (1/2)

Proposition initiale (avant Phase 0) :

- 2x2 instruments identiques sur
 - la sonde *mère*
 - une des sondes *filles*

Proposition actuelle (PDR, fin phase B) :

- 4 instruments différents sur
 - la sonde *mère*

→ **Initialement 2x2** contributions, **actuellement 4 contributions** instrumentales (toutes sur satellite mère)

Contributions et visibilité françaises au sein du projet (1/2)

Proposition initiale (avant Phase 0) :

- 2x2 instruments identiques sur
 - la sonde *mère*
 - une des sondes *filles*

Proposition actuelle (PDR, fin phase B) :

- 4 instruments différents sur
 - la sonde *mère*

→ **Initialement 2x2** contributions, **actuellement 4 contributions** instrumentales (toutes sur satellite mère)

NB: L'absence de contribution française sur le nanosatellite européen illustre ***l'absence de maturité des instruments spatiaux plasma français sur petites plateformes*** (R&T CNES et laboratoires INSU en cours pour y remédier).

Contributions et visibilité françaises au sein du projet (1/2)

- **4 contributions instrumentales** sur instruments majeurs
 - Deux instruments *in situ* (DFP-LEES, DFP-COMPLIMENT) : *plasma, champs, poussières cométaires*
 - Caméra (CoCa) : *gas & poussières cométaires*
 - Spectro de masse (MANIAC) : *gas cométaire*impliquant **4 laboratoires français (LAM, IRAP, LAB, LPC2E)**
- **2 responsabilités instrumentales** (LEES, COMPLIMENT)
- **+ 2 responsabilités opérations :**
coordinations de la modélisation (**LGLTPE**) :
 - au niveau mission,
 - dans le cadre du choix de la comète cible.

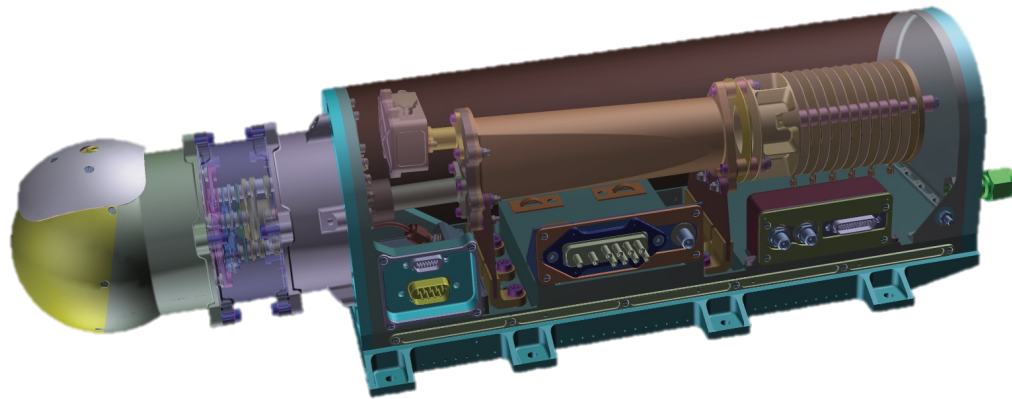
➔ **Héritage technique et scientifique de Rosetta**

Science Team Co-Is	Science Team Associates		Operational Teams
Simulation and Modelling Coordinator Aurélie Guilbert-Lepoutre <i>CNRS/Université de Lyon, France</i>			
Target Identification Team			
Chair Colin Snodgrass <i>University of Edinburgh, UK</i>			
Vera Rubin Observatory/LSST representative Meg Schwamb <i>Queen's University Belfast, UK</i>			
Observations coordinator Matthew Knight <i>United States Naval Academy, USA</i>			
Trajectory design lead Joan Pau Sanchez Cuartielles <i>Cranfield University, UK</i>			
Orbit Analysis lead Marco Micheli <i>ESA NEO Coordination Centre</i>			
Comet models coordinator Aurelie Guilbert-Lepoutre <i>CNRS/Université de Lyon, France</i>			
Dust Hazard Assessment Team			
Chair Cecilia Tubiana <i>INAF-IAPS, Rome, Italy</i>			

Contributions et visibilité françaises au sein du projet (2/2)

- Initialement : 5 laboratoires français impliqués dans le proposal
- **Actuellement : 10 laboratoires français** formellement impliqués dans le projet au niveau scientifique : *LAM (Marseille), LAB (Bordeaux), IMCCE (Paris), LESIA (Paris), LATMOS (Paris), LGLTPE (Lyon), IRAP (Toulouse), LAPLACE (Toulouse), LPC2E (Orléans), Lagrange (Nice)*
- D'autres à prévoir → call "interplanetary scientists" à venir.
- Interface forte entre **2 communautés PNP** et **PNST** (CNRS-INSU) / **GTSHM** et **GTSS** (CNES)
- Nourrit fortement les **activités d'observations sol** cométaires (campagnes VLT, Keck, ...) : découverte / suivi / caractérisation de comètes nouvellement active → expertise française dans l'optique sol + renforce **interfaces ESO-agencies spatiales**

Contribution IRAP à MANiaC



*Mass Spectrometer
+ Neutral Density Gauge
⇒ Mesures des volatiles / poussières*

- **Demande PI Suisse (Univ. Berne)** de l'**expertise IRAP** pour la fourniture des **hautes tensions de MANiaC/MS**
- **Historique:** contribution de l'IRAP (ex-CESR) à Rosetta/ROSINA (Univ. Berne)
- **Nouveau consortium** pour la France (intérêt scientifique fort)
- **Synergie** scientifique / technique / financière avec implication sur DFP/LEES

Activités	Risques
Design et fabrication / test cartes électroniques par IRAP ; composants payés par la Suisse via PRODEX	FAIBLES : approvisionnement composants + TRL 7 (Bepi Colombo, Solar Orbiter, JUICE...)

Resp. IRAP : Philippe GARNIER

Contribution du LAM à la caméra CoCa

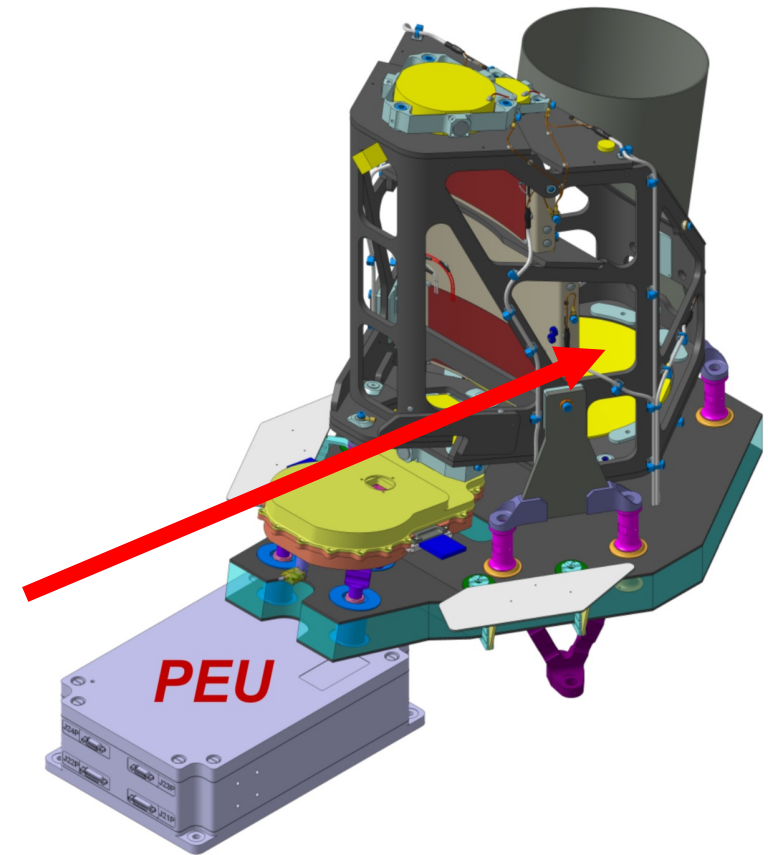
La caméra CoCa est sous responsabilité Suisse:

- PI : N. Thomas à l'Université de Berne
- Industriel: Thalès-Zurich

La caméra CoCa est héritée de la caméra CaSSIS sur Mars TGO.

Le **LAM (Marseille)** fournit le **modèle de vol** du **miroir primaire** de la caméra CoCa (réalisé par Thalès-SESO).

Fournit ainsi le contexte scientifique de la coma de poussière en soutien à la suite instrumentale DFP à laquelle la France contribue (IRAP/Toulouse et LPC2E/Orléans).

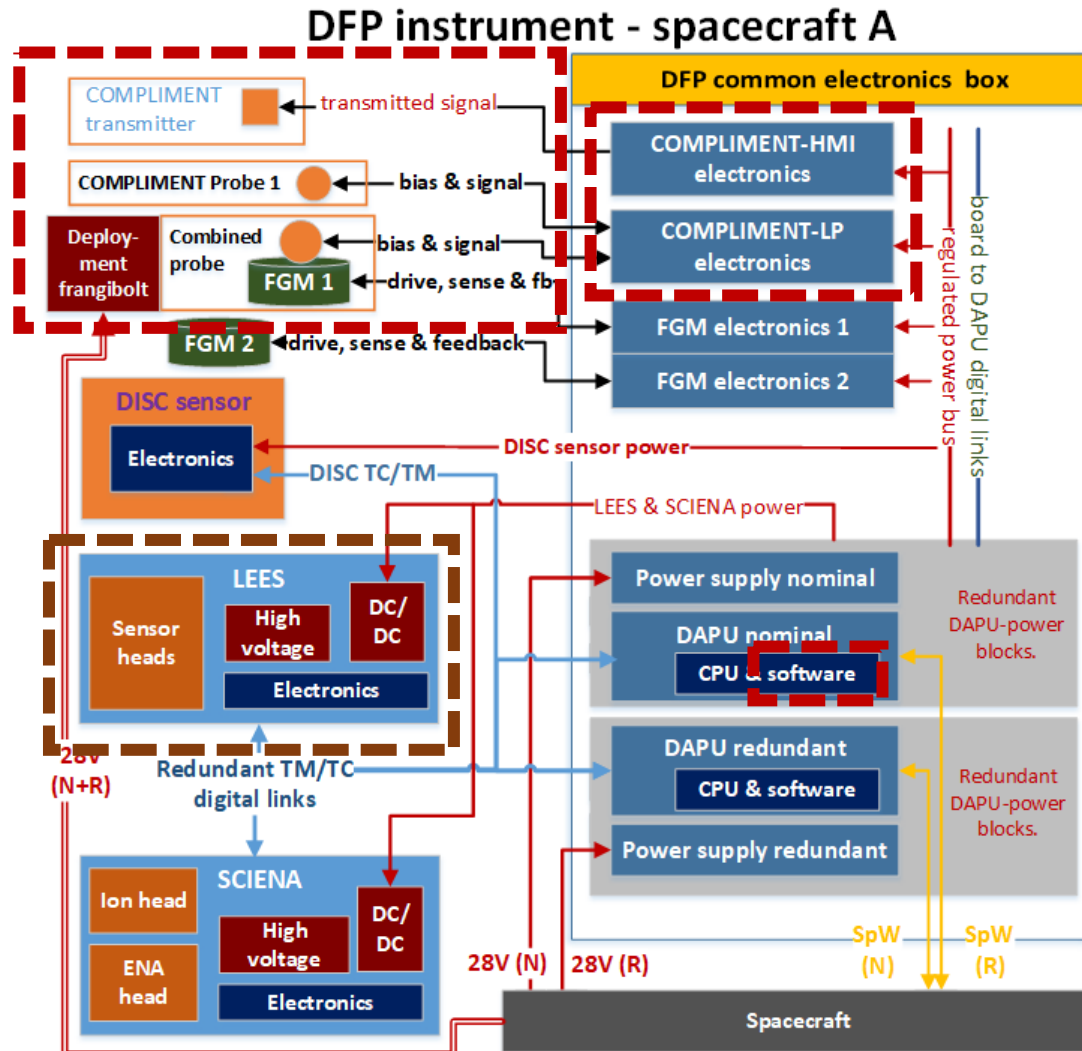


Resp. LAM : Olivier GROUSSIN

Consortium Dust Field and Plasma (DFP)

COMPLIMENT

LEES



5 instruments *in situ*:

- *Magnétomètre*
- *Instrument électrique (LPC2E)*
- *Spectro. électron (IRAP)*
- *Spectro. ion et neutre énergétiques*
- *Détecteur poussière*

Mesures multipoints 3 s/c (A, B1, B2):

- *Poussières cométaire (A + B2)*
- *Plasma (A + **B1**)*
- *Champ magnétique (A + **B1** + B2)*

Complémentarité avec instruments plasma et champ magnétique japonais sur **s/c B1 (JAXA)**

→ aspect mesures multipoints

Contribution LPC2E à COMPLIMENT (1/2)

Instrument électrique combinant sonde à impédance mutuelle + sonde de Langmuir + antenne électrique pour mesurer :

- les **paramètres plasma** (**densité** plasma à 10 msec, **température** électronique à 1 sec)
- le **champ électrique** (1Hz-3MHz)
- la détection de **nano-poussières** (par leur signal électrique HF d'impact lors du fly-by)
- Le potential électrique du satellite

Table 6.3.2. DFP-COMPLIMENT parameters

Measured Quantity	Range
Electric field component, $\delta E(f)$	1 Hz – 1.4 MHz ; $2\mu\text{V/m}/\sqrt{\text{Hz}}$ ($>500\text{Hz}$)
Electron density (N_e)	$10^2 - 10^5 \text{ cm}^{-3}$
Density fluctuations ($\delta n/n$)	DC – 10kHz
Ion density (N_i)	$10^2 - 10^5 \text{ cm}^{-3}$, $<1 \text{ Hz}$
Electron temperature (T_e)	0.01 – 30 eV, $<1\text{Hz}$
Ion effective mass (amu)	1-100 amu
S/C potential (U_{sc})	Max $\pm 850 \text{ V}$, $<100 \text{ Hz}$
Integrated solar EUV flux	$<1 \text{ Hz}$

➔ Valorisation des expertises techniques (**instrument MIP**) et scientifiques (**plus de 60 articles**) développées au LPC2E avec la mission Rosetta.

Contribution LPC2E à COMPLIMENT (2/2)

PI LPC2E : Pierre HENRI

Co-PI BIRA, Belgique : Johan DE KEYSER

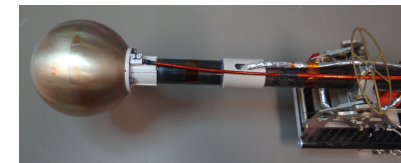
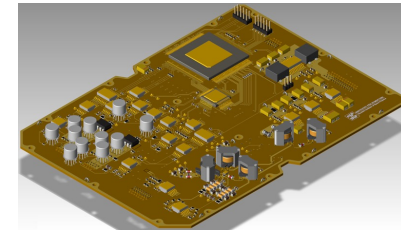
Co-PI IRFU, Suède : Niklas EDBERG

Outre la **coordination** de l'instrument COMPLIMENT, la contribution du **LPC2E** comprend la fourniture instrumentale de :

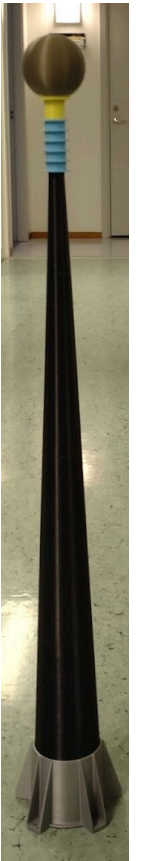
- La carte électronique de l'analyseur HMI et design FPGA 1kHz-3MHz ;
 - logiciel traitement bord ;
 - L'EGSE de COMPLIMENT,
- complétés par les contributions instrumentales des partenaires :
- **IRFU (Suède)** : carte électronique LP
 - **IRFK (Suède)** : bras + senseur de transmission
 - **BIRA (Belgique)** : senseurs de réception

En interface avec

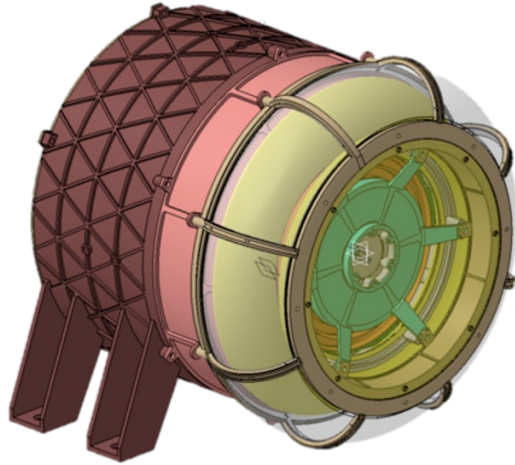
- l'**IAP (République Tchèque)** pour l'interface satellite et le s/w,
 - Le **CBK (Pologne)** pour le boîtier électronique et l'alimentation,
- dans un montage similaire à ceux des missions **Rosetta**, **BepiColombo** et **JUICE**.



LPC2E, France
IRFU, Suède
IRFK, Suède
BIRA, Belgique



Contribution IRAP/LAB à DFP-LEES (1/2)

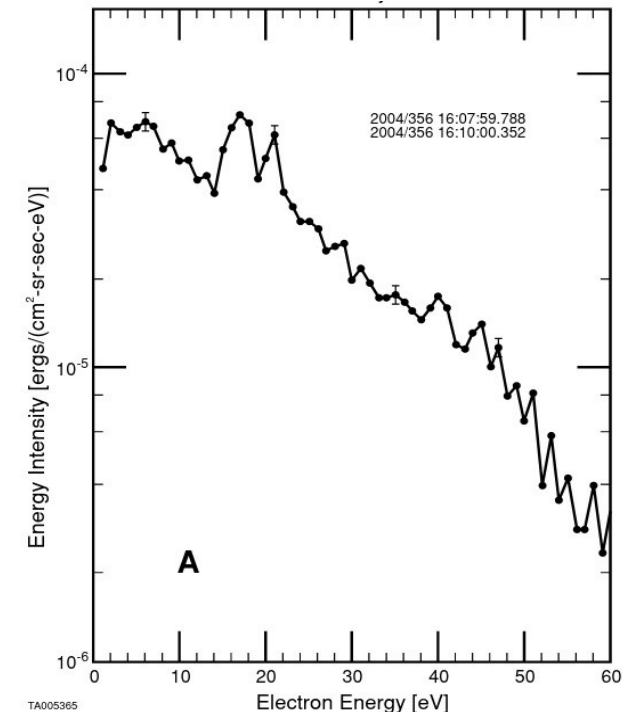


LEES

- ⇒ Mesures des électrons et ions négatifs
- ⇒ Interactions neutres/plasma: sources d'ionisation
- ⇒ Interactions poussières/plasma: charge

Parameters	Value		Note
	required	obtained	
Particles to be measured	Electrons	Electrons	
Energy range, eV	1 ÷ 1000	1 ÷ 1000	in 90 bins
Energy resolution, dE/E	0.07	0.09	
Elevation range, deg	-40° ÷ 70°	-40° ÷ 70°	
Elevation physical resolution, deg	2.5°	2.5°	instant during sweep
Elevation bin size	10.0°	10.0°	11 elevation bins
Azimuth sector, deg	22.0°	22.0°	16 azimuth bins
Entrance aperture, cm ²	0.084	0.088	
Total efficiency, ε	0.300		estimation of grids, MCP efficiency
Sector GF, cm ² sr eV/eV	2.95E-05	8.0E-05	
3D image sampling	8 s		minimum

LEES analyzer optics general scientific requirements and main properties of the LEES optics model 5.1.



[exemple de spectre]

Contribution IRAP/LAB à DFP-LEES (2/2)

PI IRAP: Nicolas André

Co-PI Univ. Charles, Rép. Tchèque: Lubomir Prech

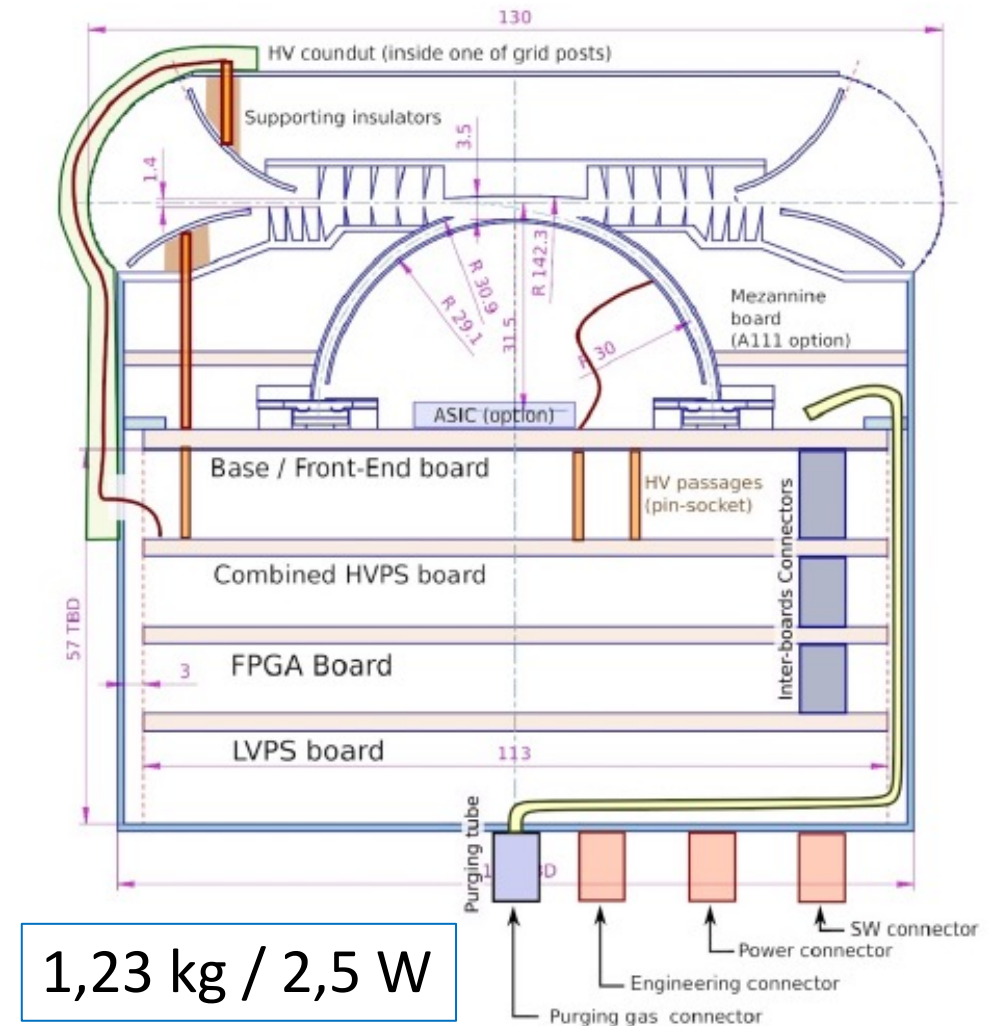
IRAP, France

LAB, France

CUNI, Rep. Tchèque

- Design (IRAP)
- Mécanique (LAB)
- Electronique de proximité A111 (IRAP, TRL 9)
ou ASIC (LAB/IRAP, si TRL 6)
- Carte basses-tensions LVPS (Univ. Charles)
- Design hautes-tensions statiques (Univ. Charles)
- Cartes hautes-tensions (IRAP)
- Carte FPGA (IRAP)

Héritage : BepiColombo MEA



Instrument composition details

Calendrier de la mission

Formal mission adoption expected next month!

Milestone	Planning
Start of P/L phase A/B	Jan-20
Start of industrial phase A/B	Sep-20
Instruments PRRs completed by	Q4-20
Instruments SRRs completed by	Q2-21
End of Phase A/B1 (S-SRR)	Q3-21
Instruments PDRs completed by	Q2-22
End of Phase B2 (S-PDR)	Q2-22
Prime contractor selection	Q3-22
Start of phase C/D/E	Jan-23
Instruments CDRs completed by	Q3-23
Instruments EMs & S(T)Ms DRB	1st February 2024 (TBC)
End of S(T)M & EM campaigns	Sep-24
S-CDR	Q4-24
Probe B2 platform ready	Q4-25
Probe B2 instrument FMs DRB	1st October 2025 (TBC)
S/C A platform ready	Q1-26
Probe B2 integration & functional tests	Q1-26
Payload QARs completed by	Q1-26
S/C A instrument FMs DRB	2nd February 2026 (TBC)
Delivery of integrated B1 and B2	Q2-26
Start of S/C integration & funct. tests	Q2-26
End of S/C integration & funct. tests	Q4-26
Start of the ETC at satellite level	Q1-27
S-QAR	Q4-27
Launch readiness (including 6-month margin)	2028

Aujourd'hui

Launch 2029
Parking (3-4 y) <2032
Interception (1-2 y) <2034

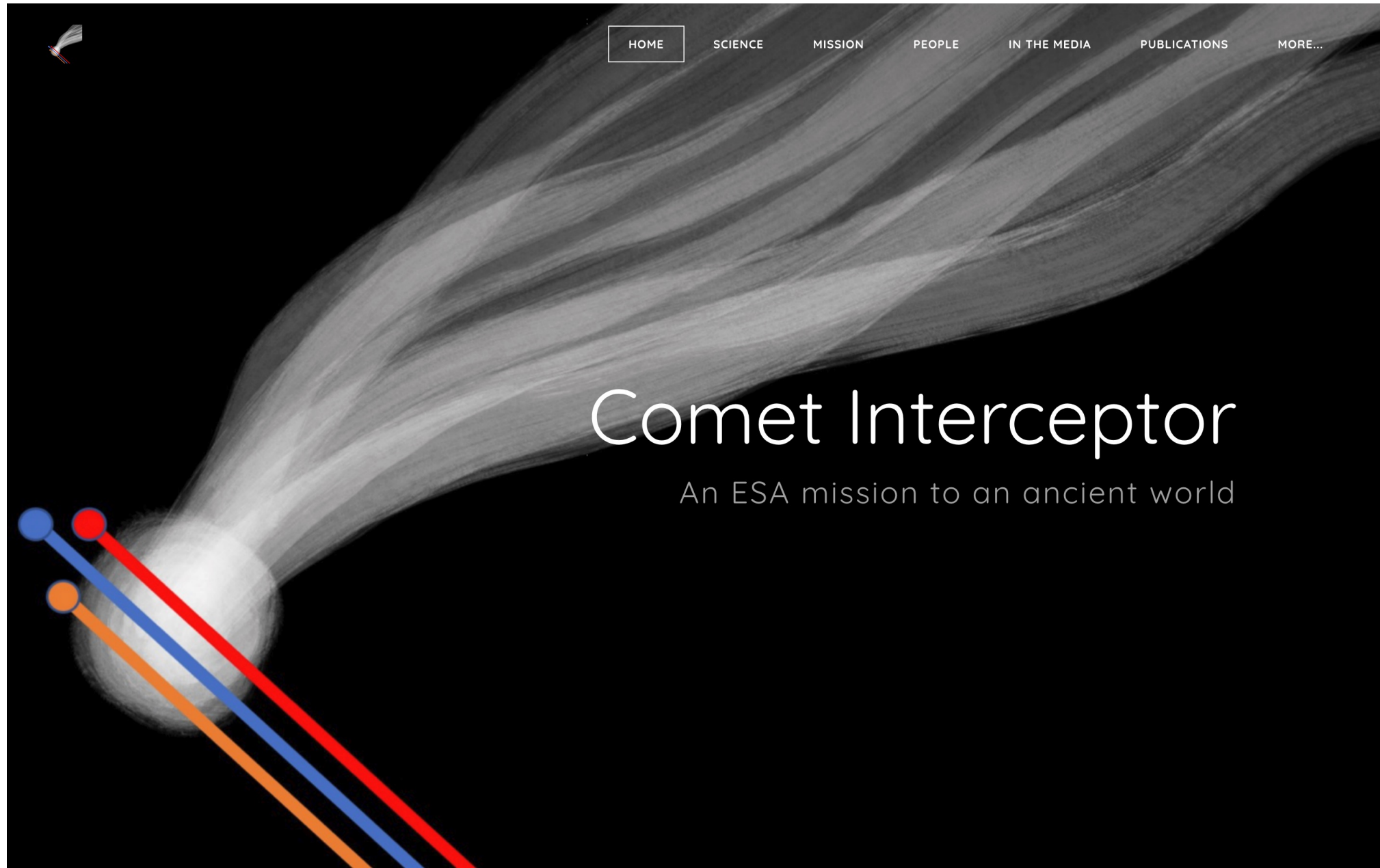
CONCLUSIONS



Comet Interceptor, ce sera :

- Une **interface forte entre** les thématiques **PNST – PNP**
- la **1ère étude d'un objet primitif**, par opposition aux comètes périodiques qui ont été altérées par plusieurs approches du Soleil, nous renseignant sur la genèse du système solaire et des systèmes planétaires plus largement ;
- la **1ères mesures multipoints** de l'interaction d'une comète avec le vent solaire
 - plasma poussiéreux
 - « Mass loaded » plasma
 - from collisional to collisionless plasmas
- Une forte **valorisation de l'investissement de la communauté scientifique française sur Rosetta**, qui a permis de développer une expertise scientifique et instrumentale française majeure sur l'étude des comètes.
- Un **retour scientifique assuré** par cette énorme expertise scientifique (démontrée par le retour scientifique de Rosetta)

<https://www.cometinterceptor.space/>



HOME

SCIENCE

MISSION

PEOPLE

IN THE MEDIA

PUBLICATIONS

MORE...

Comet Interceptor

An ESA mission to an ancient world