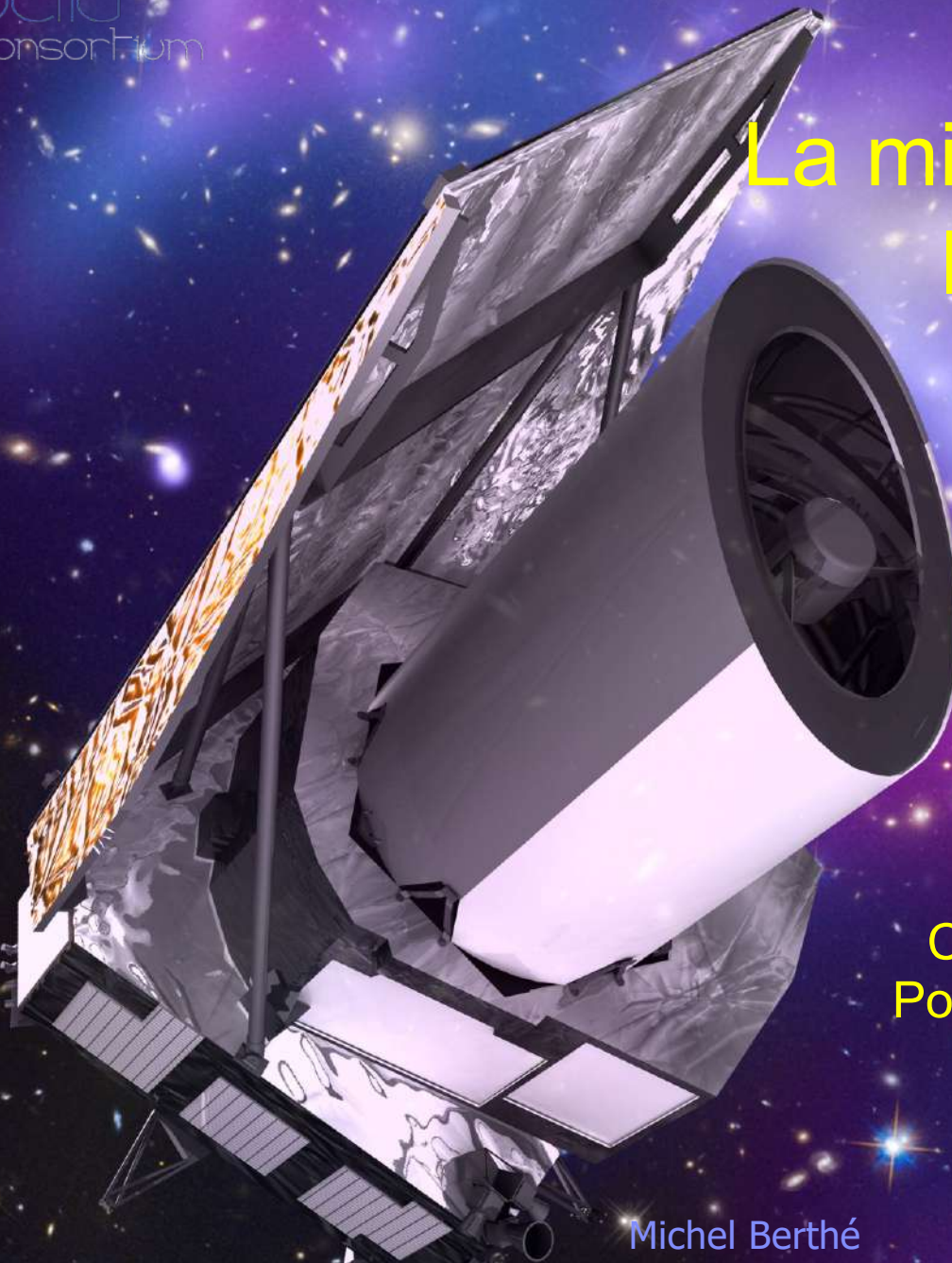




Les métiers du spatial

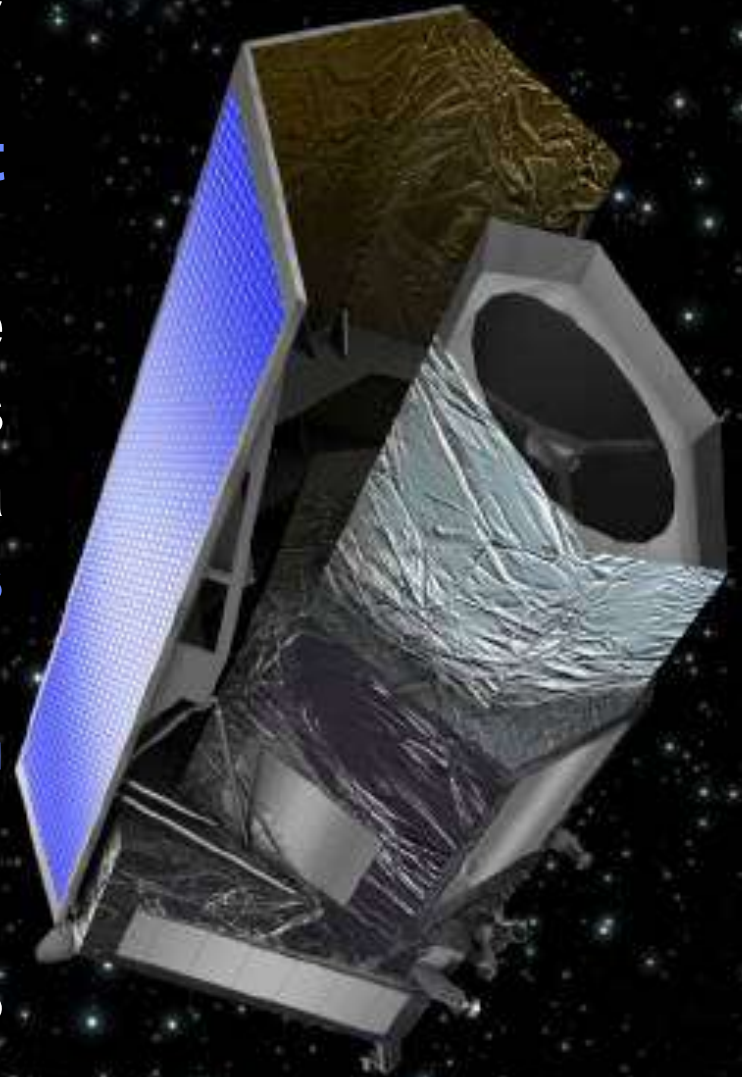
La mission spatiale de l'ESA Euclid



M. Berthé
CEA/IRFU/Dap Saclay
Pour le Consortium Euclid



- Prochaine mission de cosmologie de **l'ESA**
- Caractérisation de **l'énergie noire et de la matière noire**
- Structuration tridimensionnelle de l'Univers à grande échelle pour les galaxies (**Galaxy Clustering**) et pour la matière noire (**effet de lentilles faibles**):
 - ✓ Images haute précision de plus d'**un milliard** de galaxies
 - **Imageur visible (VIS)**
 - ✓ Mesures photométriques dans 3 bandes IR + spectre infrarouge d'environ 50 millions de galaxies
 - **Spectrophotomètre infrarouge (NISP)**



1929 - Edwin Hubble:

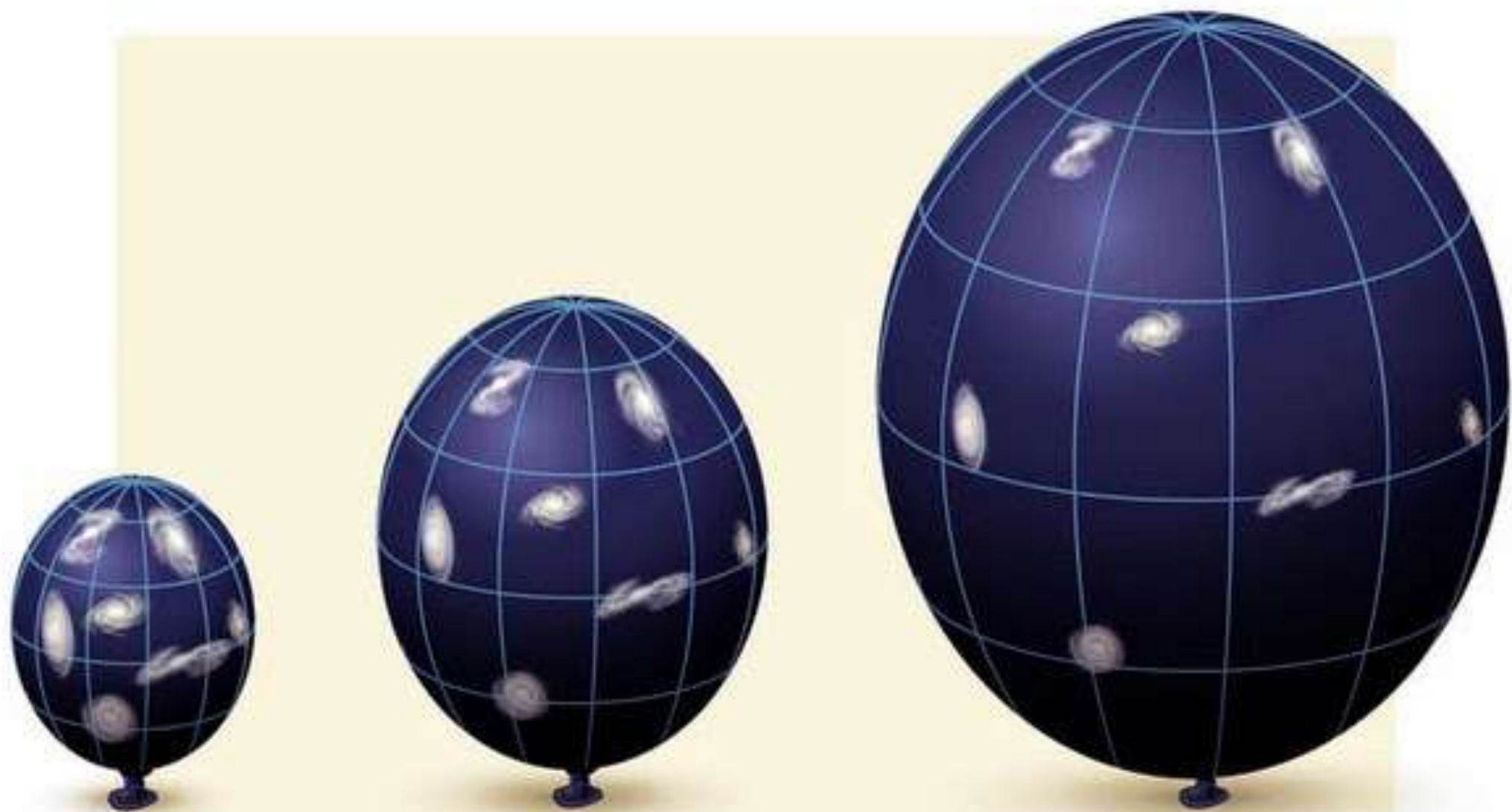
l'Univers est en expansion selon la *loi de Hubble*

- Plus les galaxies sont lointaines, plus elles s'éloignent de nous rapidement selon une loi simple :

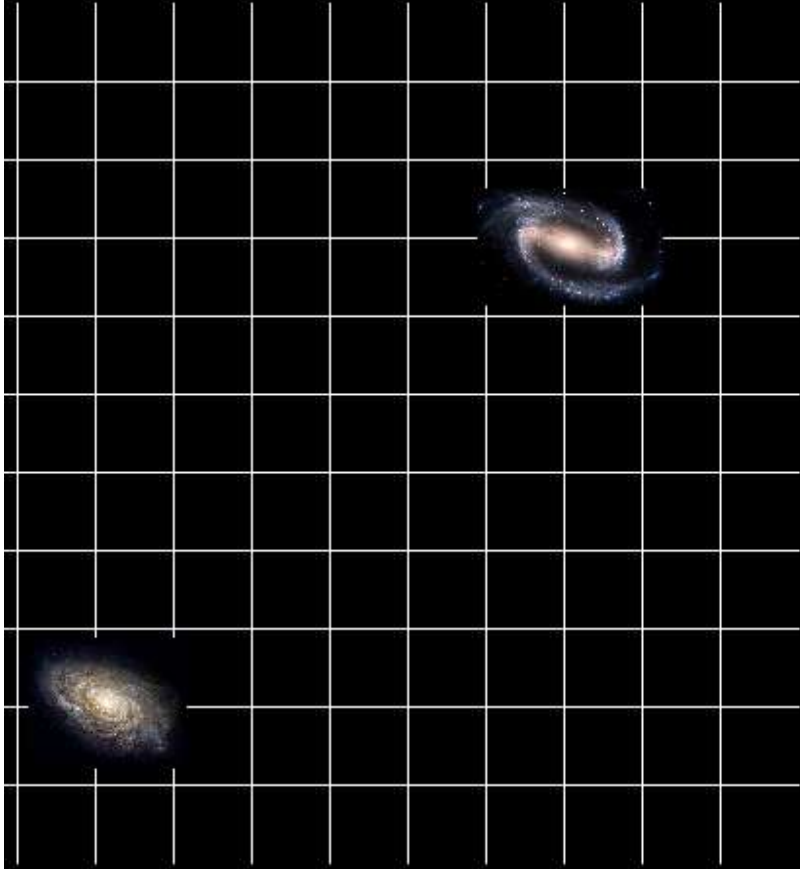
Vitesse d'expansion = $H \times$ Distance

H est la Constante de Hubble

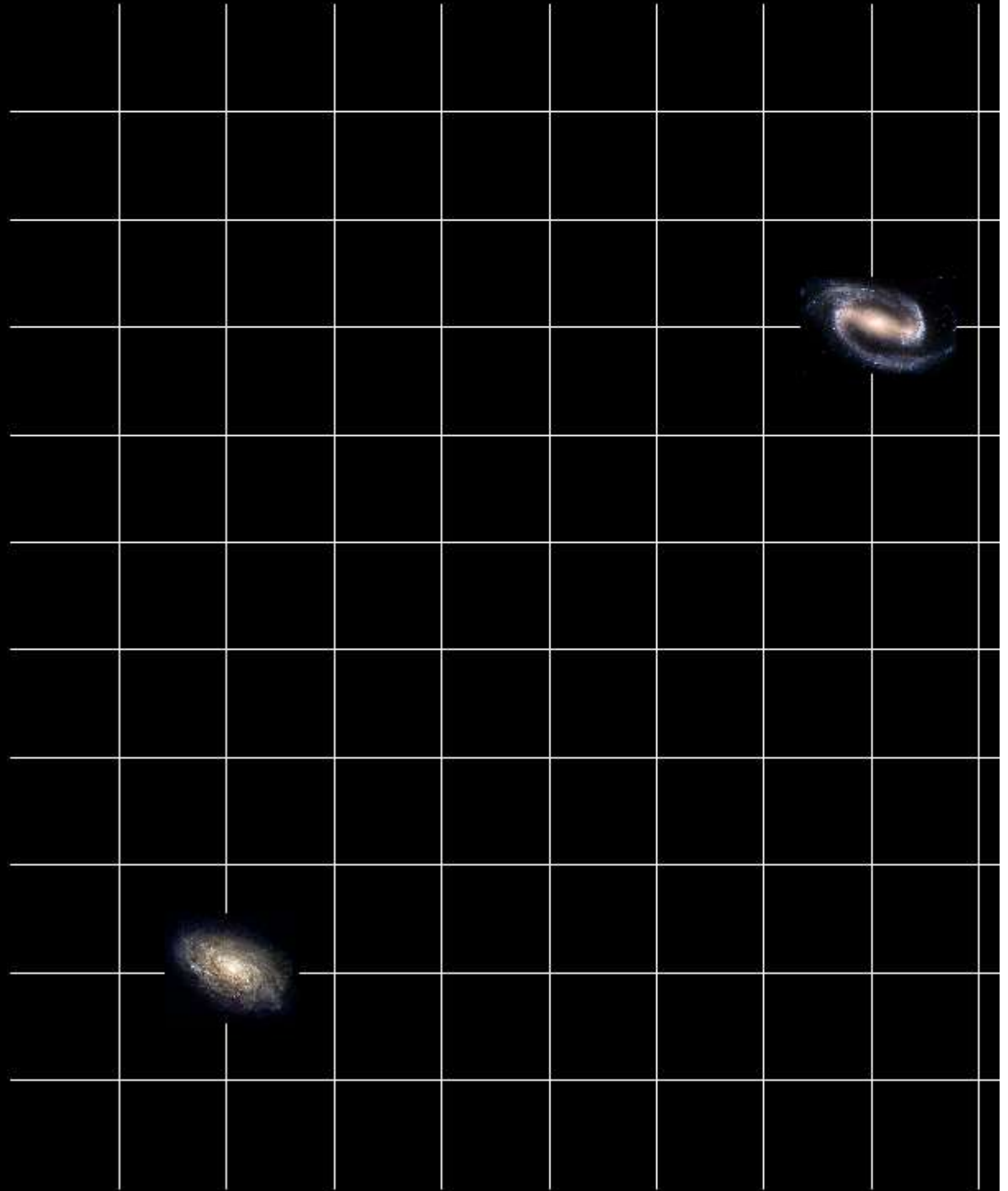




Un instant donné



... plus tard



1998: l'expansion de l'Univers accélère



Photo: U. Montan
Saul Perlmutter

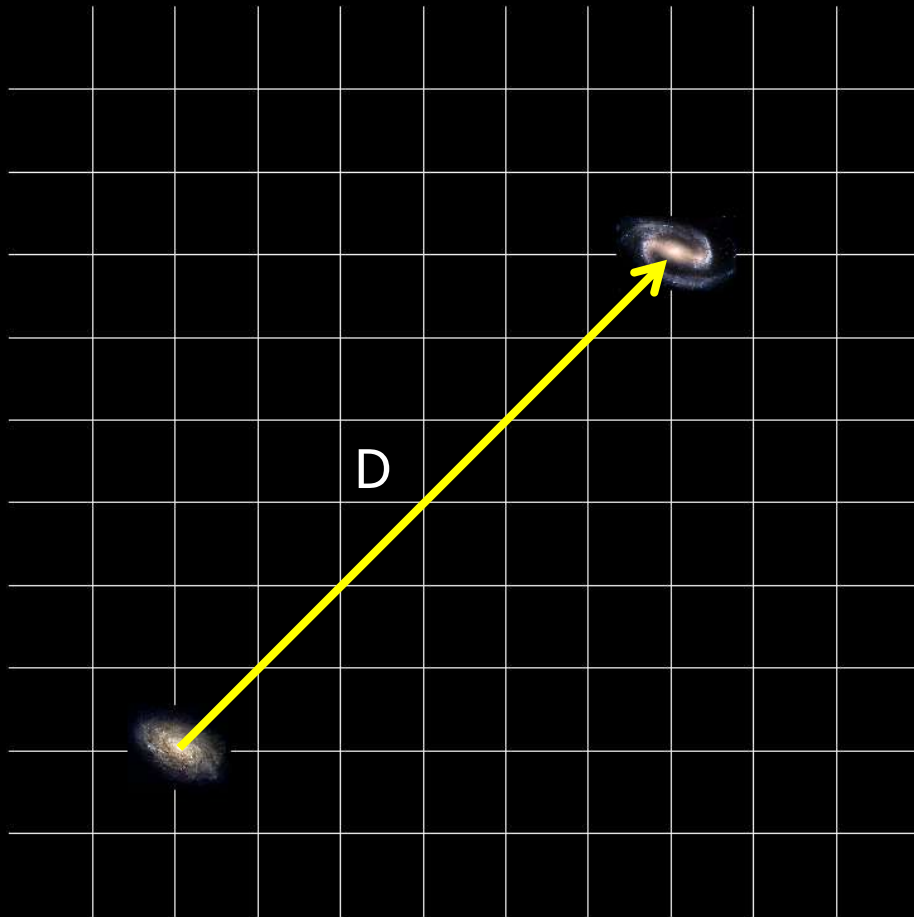


Photo: U. Montan
Brian P. Schmidt

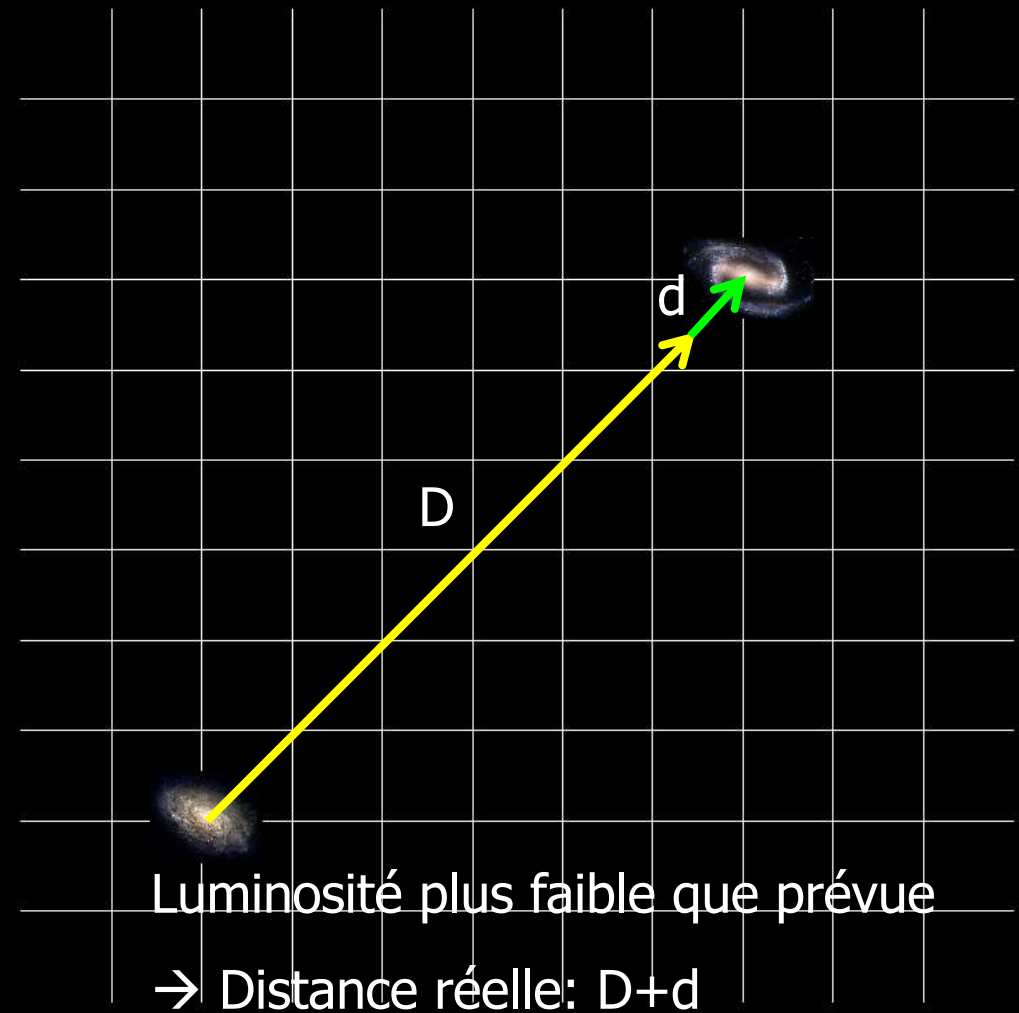


Photo: U. Montan
Adam G. Riess

Plus tard sans accélération



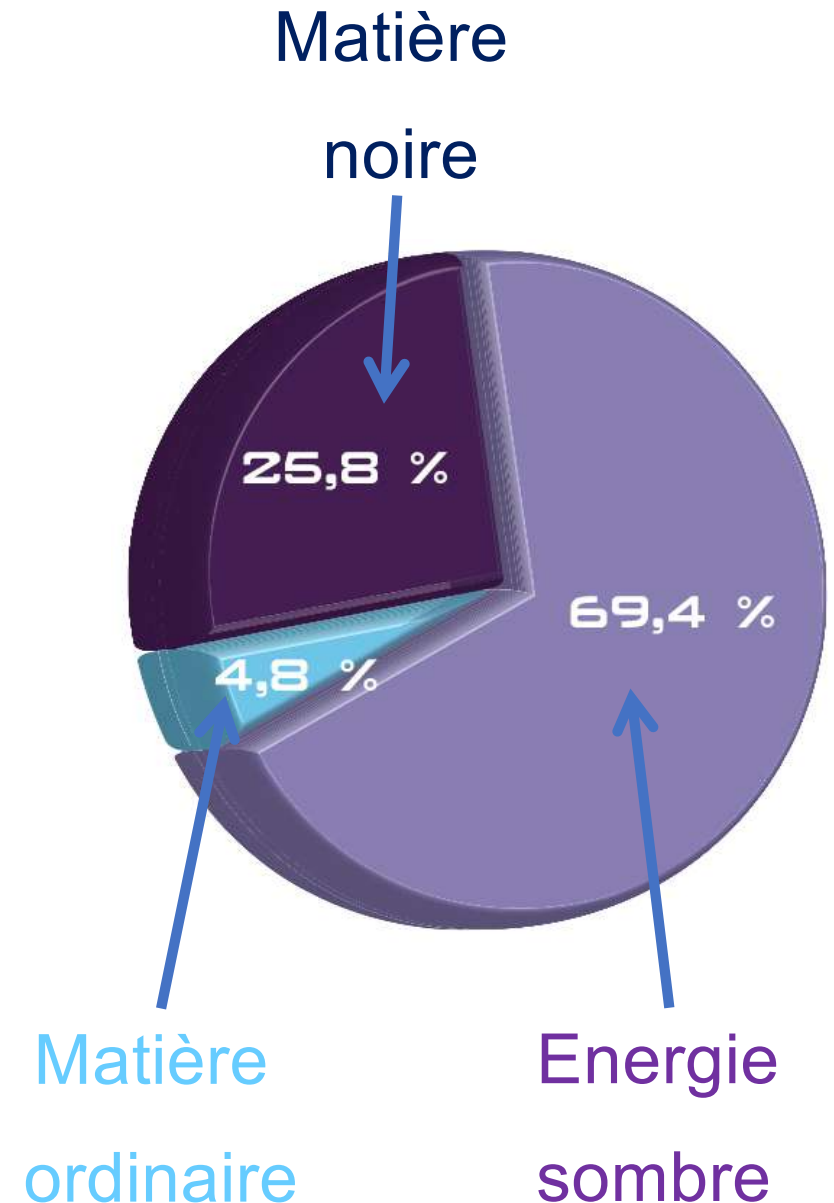
Plus tard avec accélération



Qui pousse l'Univers à s'agrandir ?

- Une accélération est un effet ... tous les effets ont une cause ... → une énergie.
- Mais cette énergie:
 - Est inconnue.
 - Représente 70% du contenu en matière-énergie de l'Univers.

→ L'Univers est constitué à 95% de **matière noire** et d'**énergie sombre** ... dont on ne connaît pas la nature!



D' où provient cette accélération ?

Les hypothèses dont débattent les physiciens

1. Une toute nouvelle interaction de la nature, « l' énergie sombre ».
Elle s' oppose à la gravitation et agit comme une force répulsive.
2. Les lois de la gravitation que nous connaissons (fondées sur la Relativité Générale) ne sont plus valides aux très grandes échelles de l' Univers?

Une énigme qui porte en elle une révolution pour la physique fondamentale et notre compréhension des lois de la Nature.



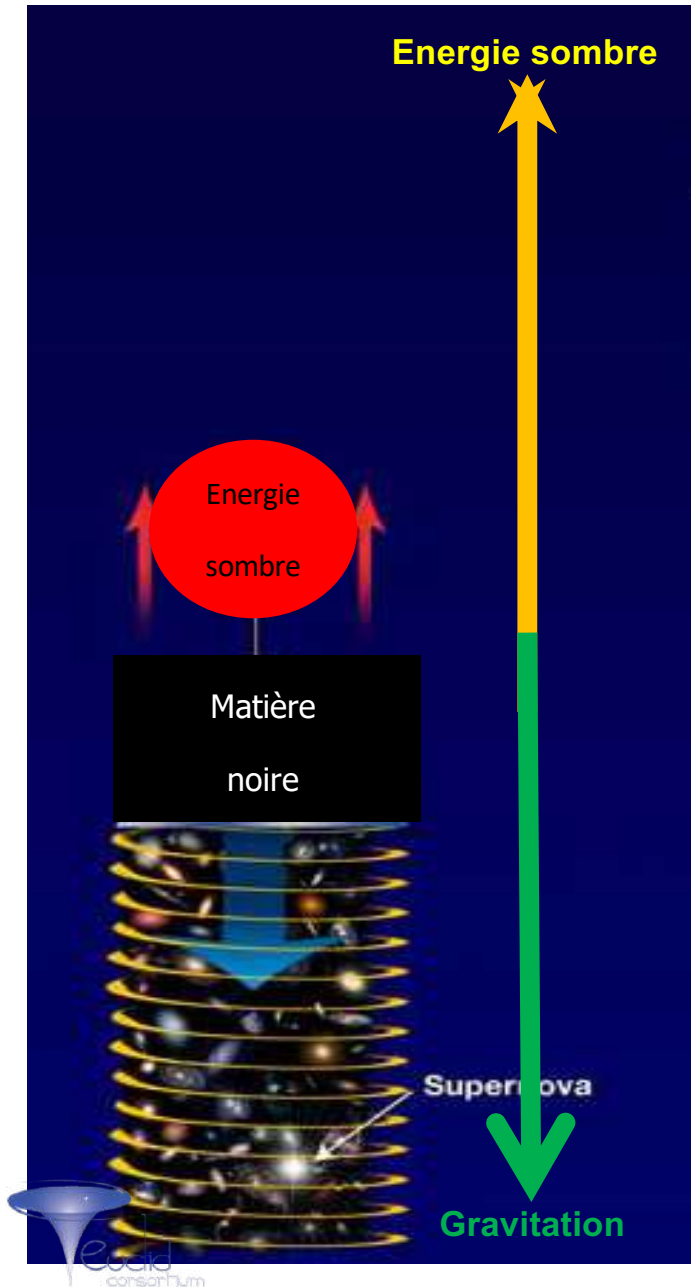
Les effets de l'énergie sombre: une pompe qui pousse l'Univers à grandir

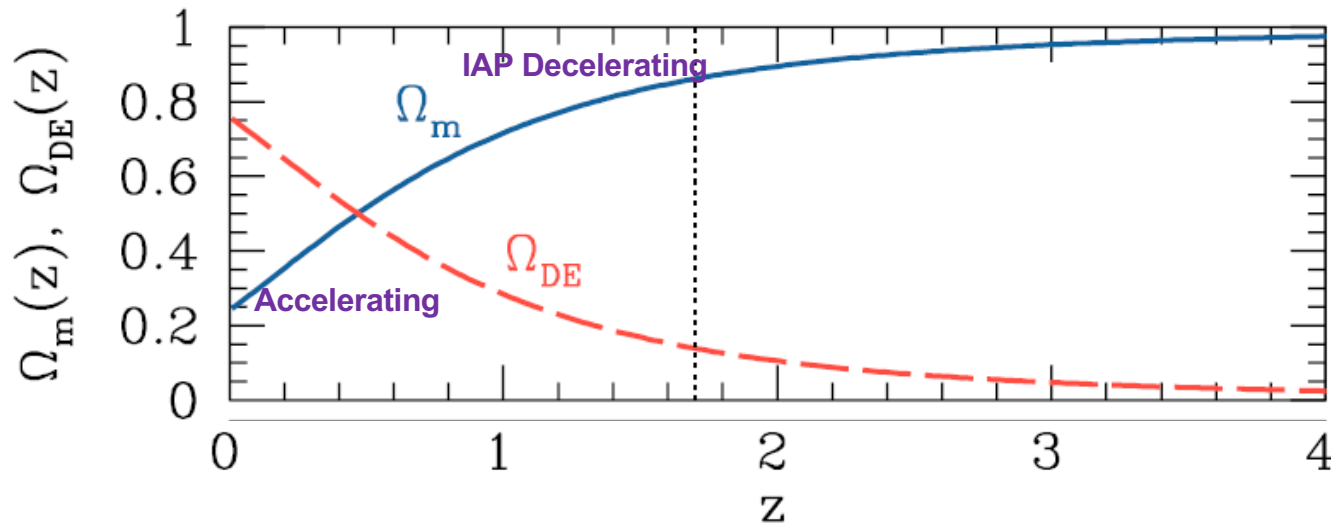
- L'énergie sombre est répulsive et s'oppose à la gravitation attractive.

- Mais au fur et à mesure que l'Univers grandit, sa densité décroît au cours du temps
→ *L'influence de la matière dans l'Univers décroît au cours du temps !*

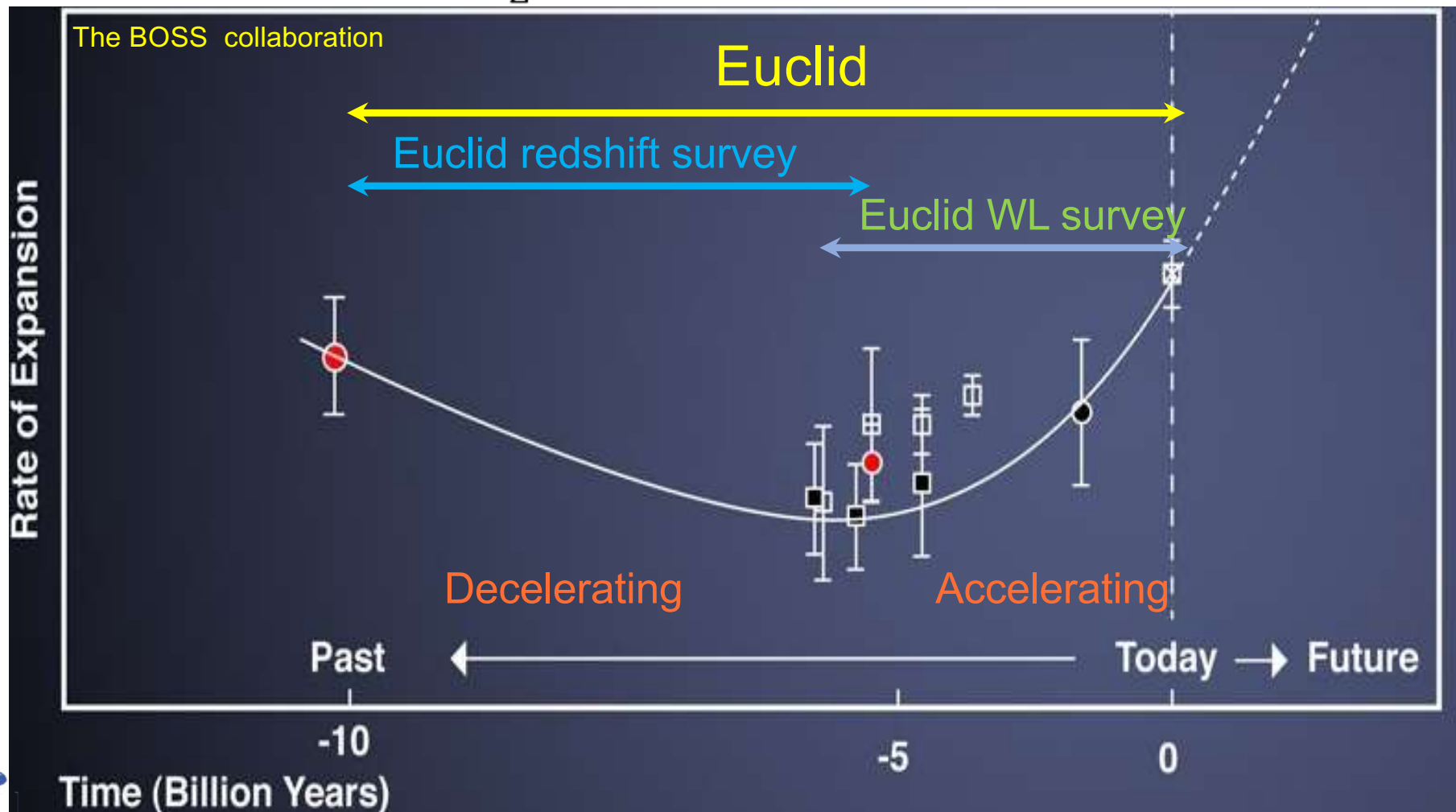
- L'histoire de l'Univers et son avenir dépendent du dosage relatif entre matière noire et énergie sombre...

Le combat entre ces deux Titans cosmiques est en cours... et va durer au moins 20 milliards d'années





Euclid :la transition entre l'ère dominée par matière noire et celle domiée par l' énergie noire



La mission spatiale Euclid: cartographeur l'Univers sombre

- Observer les galaxies avec un télescope spatial visible et infrarouge de très haute technologie.
- Cartographeur (presque) tout le ciel pendant 6 ans.
- « Voir » directement la matière noire et comment sa répartition en 3 dimensions change au cours du temps:
 - Comment ? en observant les images de 2 milliards de galaxies pour mesurer comment elles sont déformées par les effets de lentille gravitationnelle.
- Mesurer précisément la répartition en 3 dimensions des galaxies et son évolution au cours du temps
 - Comment ? grâce à la spectroscopie infrarouge et la mesure de plus de 30 millions de redshifts.

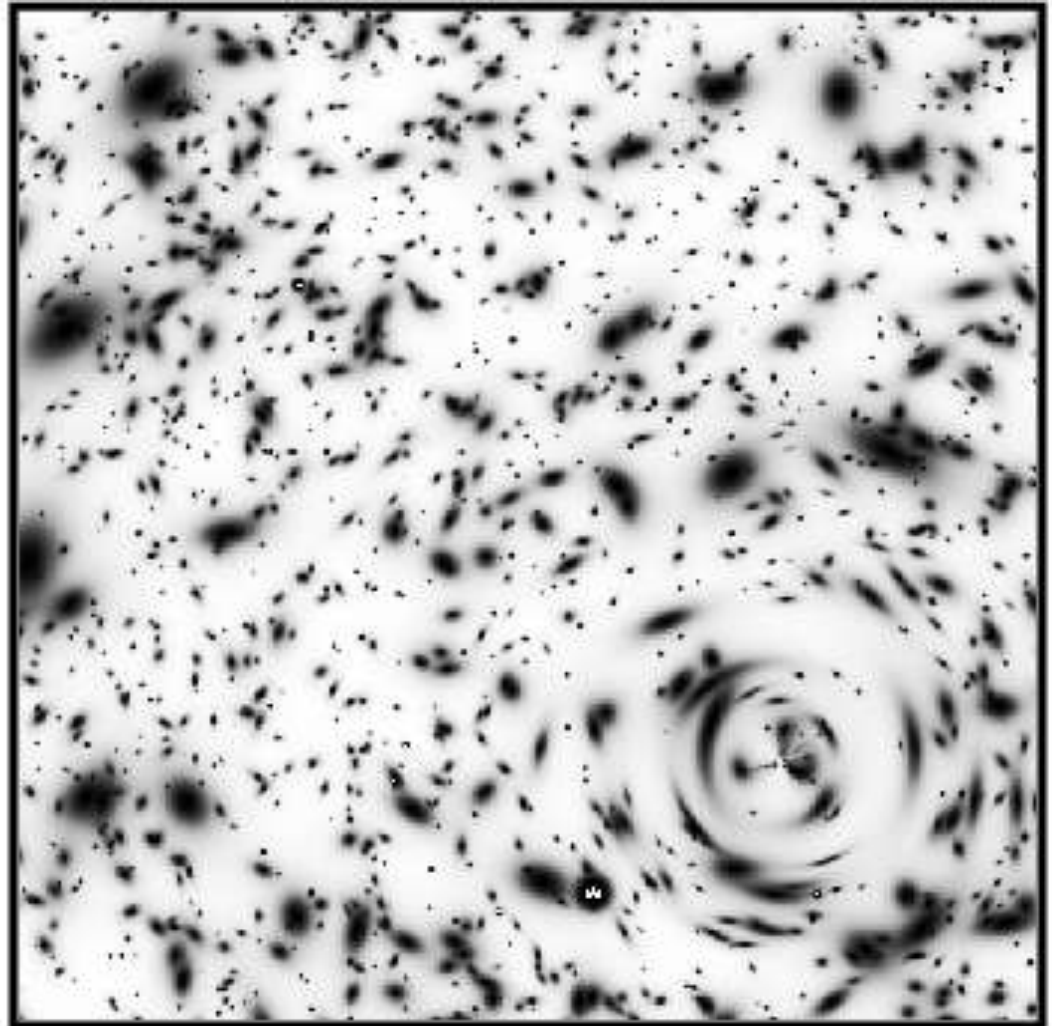
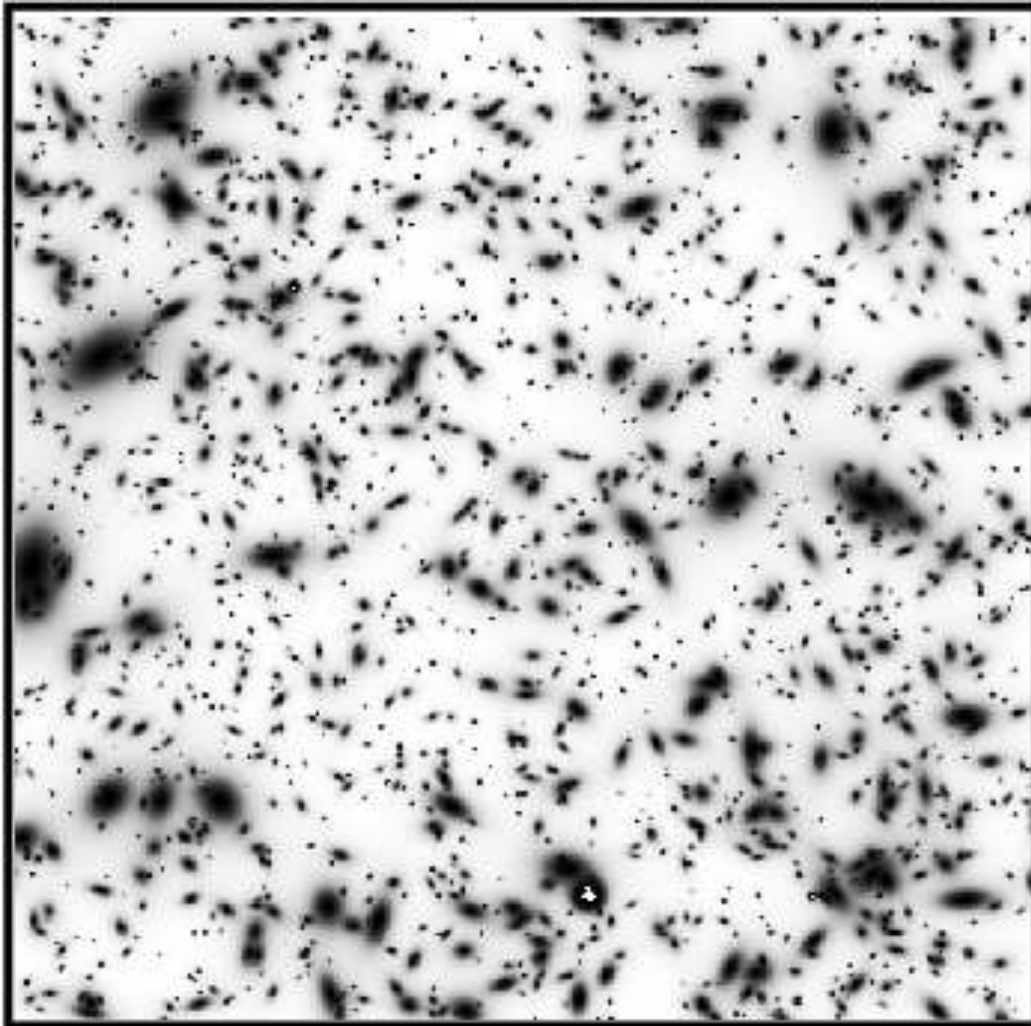


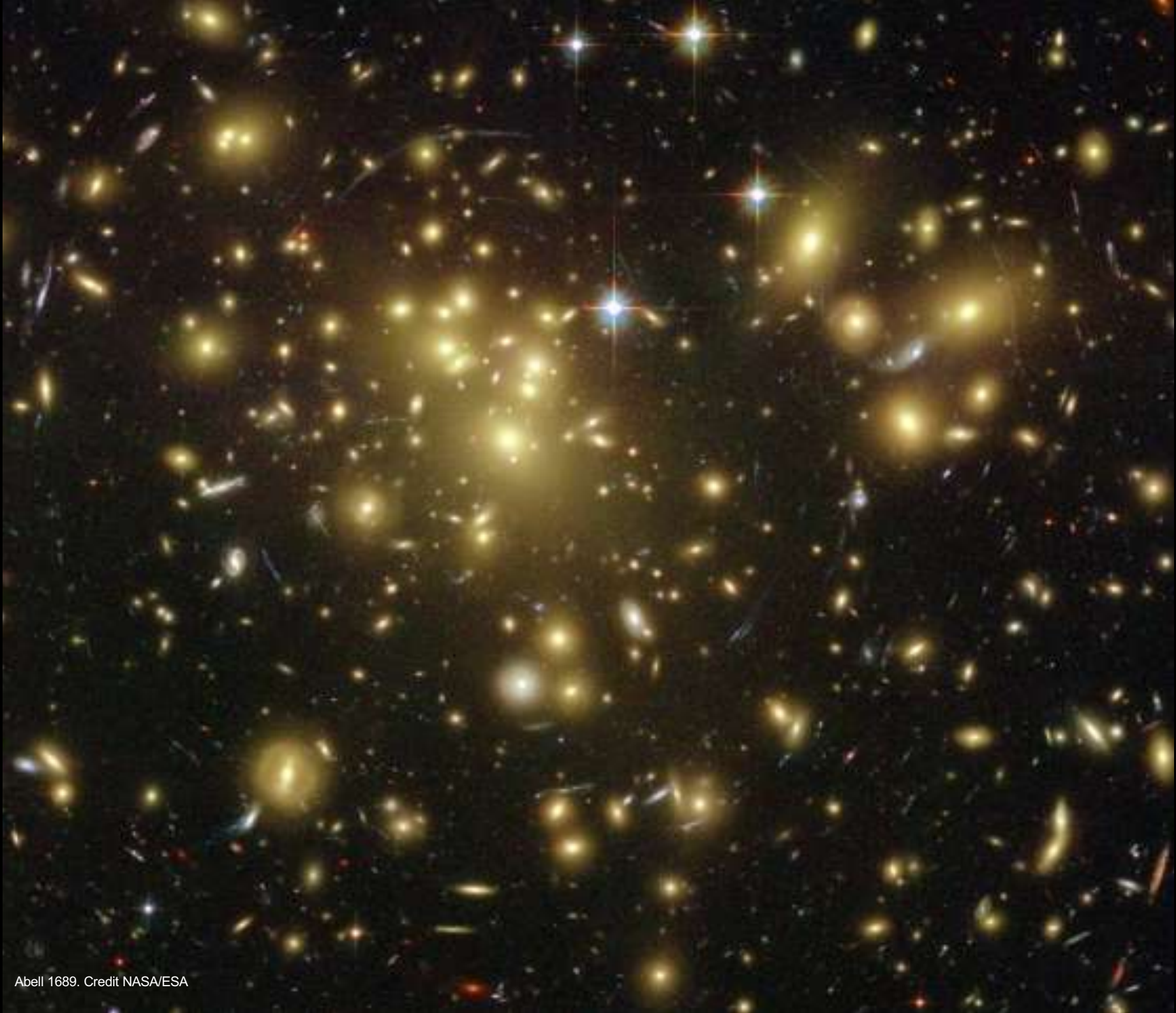
Les lentilles
gravitationnelles: la
courbure de l'espace-
temps à proximité de la
Terre



Effets des lentilles gravitationnelles: toutes les galaxies sont déformées

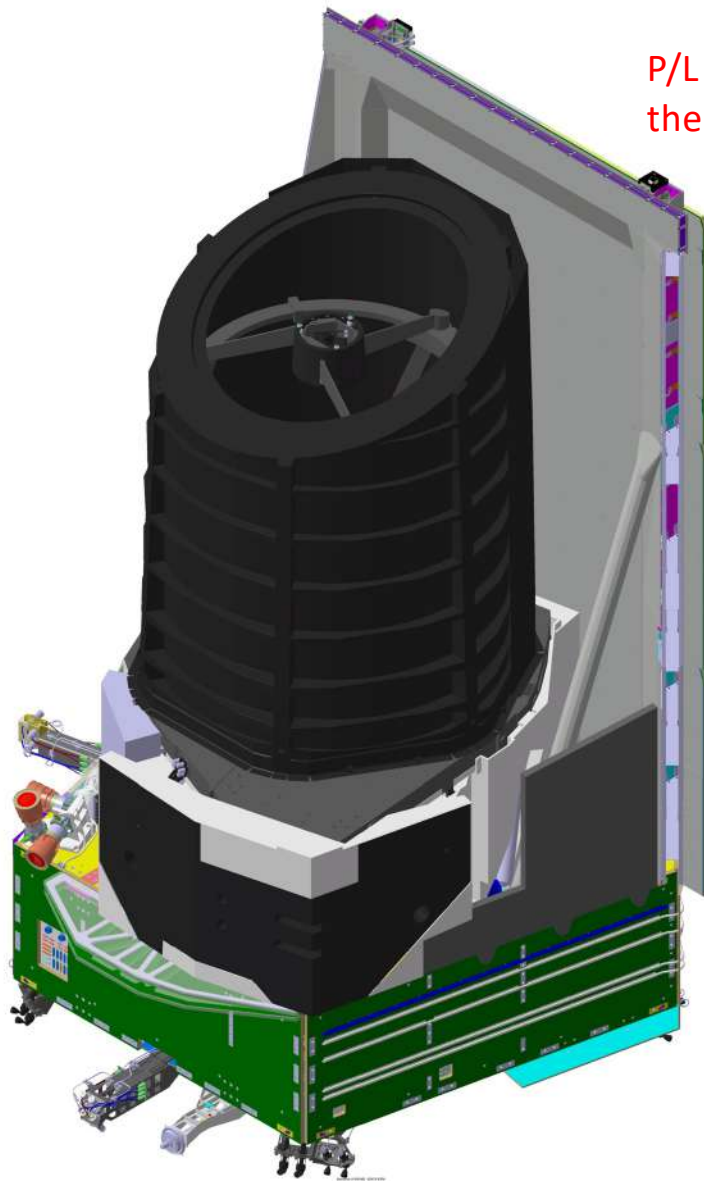
La forme apparente des galaxies s'allonge par la gravité



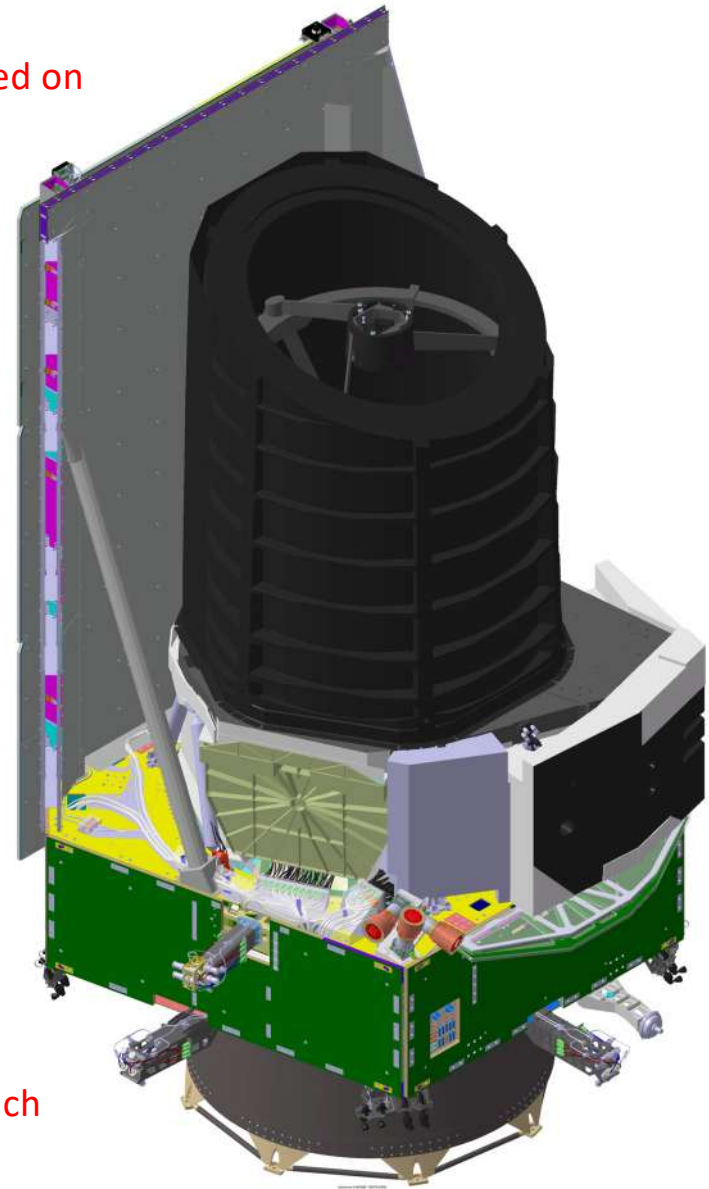


Abell 1689. Credit NASA/ESA

Spacecraft views

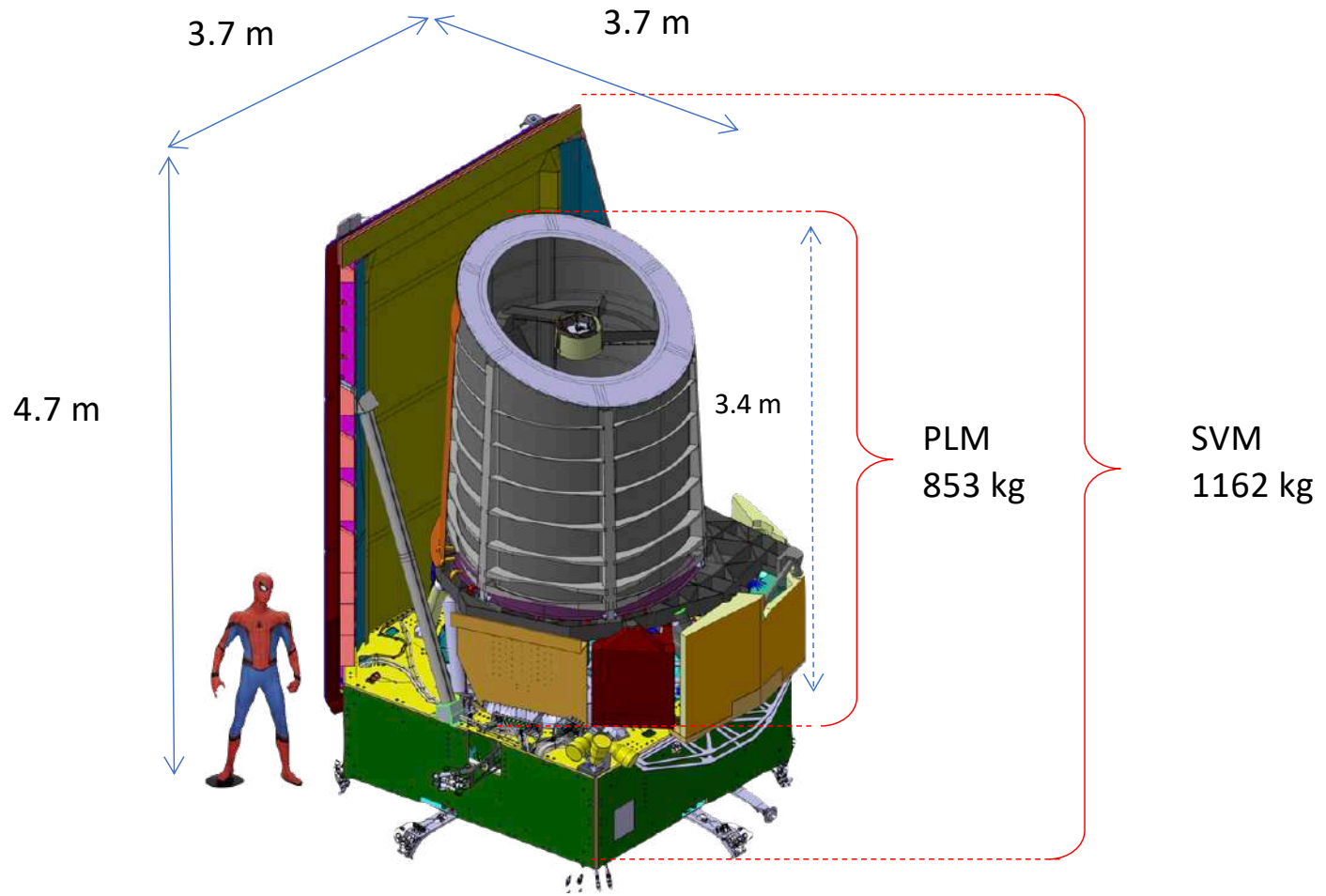


P/L Module integrated on the Service Module

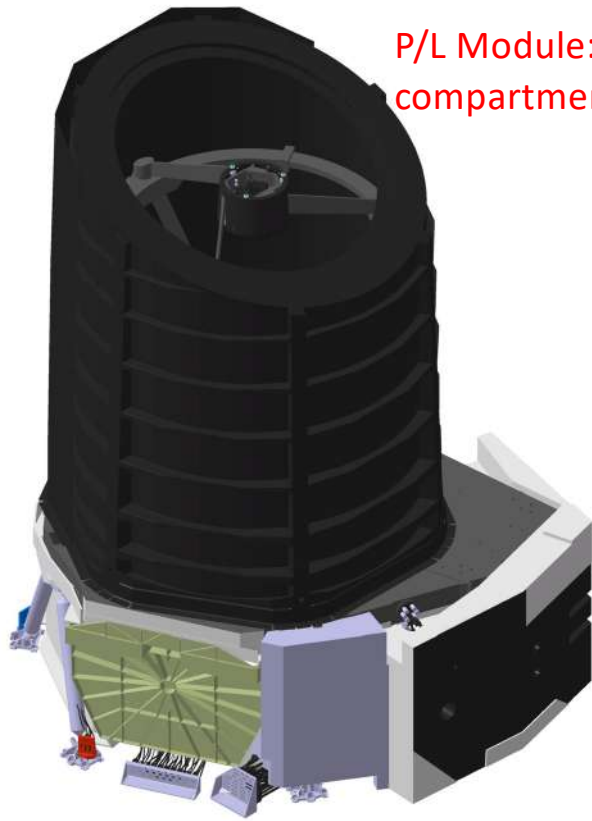


Lightweight Launch Vehicle Adapter

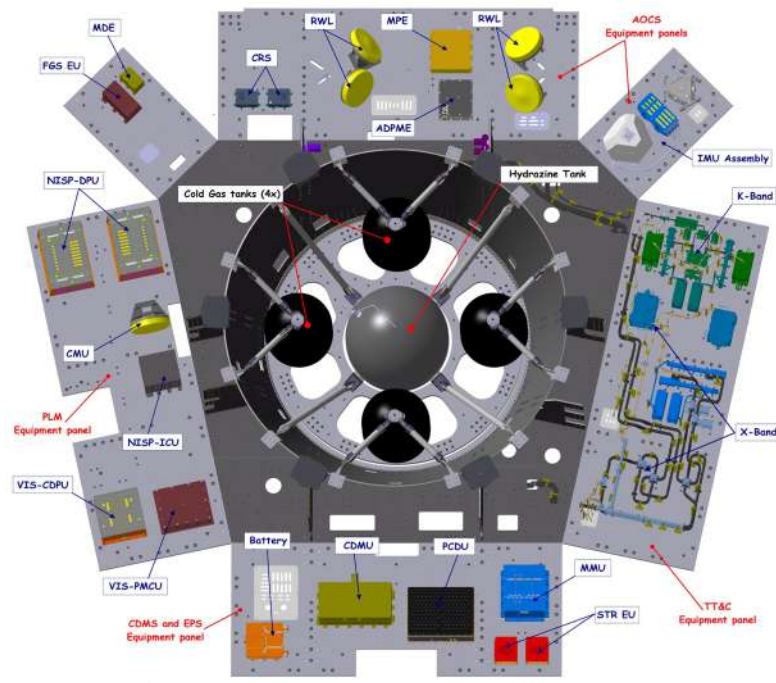
Euclid Spacecraft



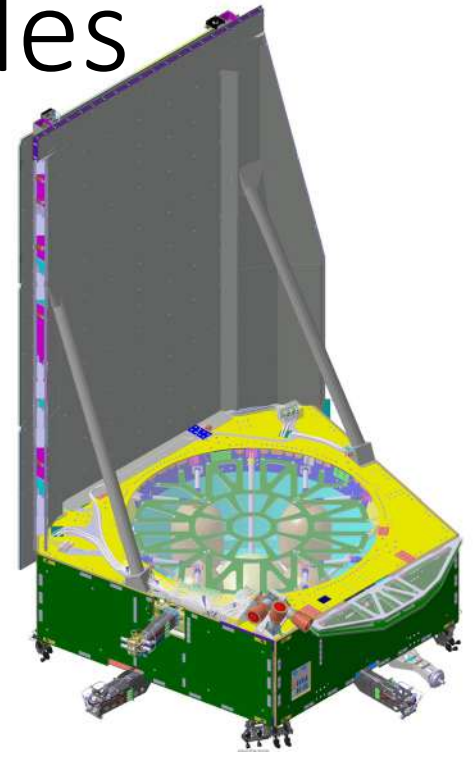
Payload and Service modules



P/L Module: telescope and cold compartment with P/L cold units

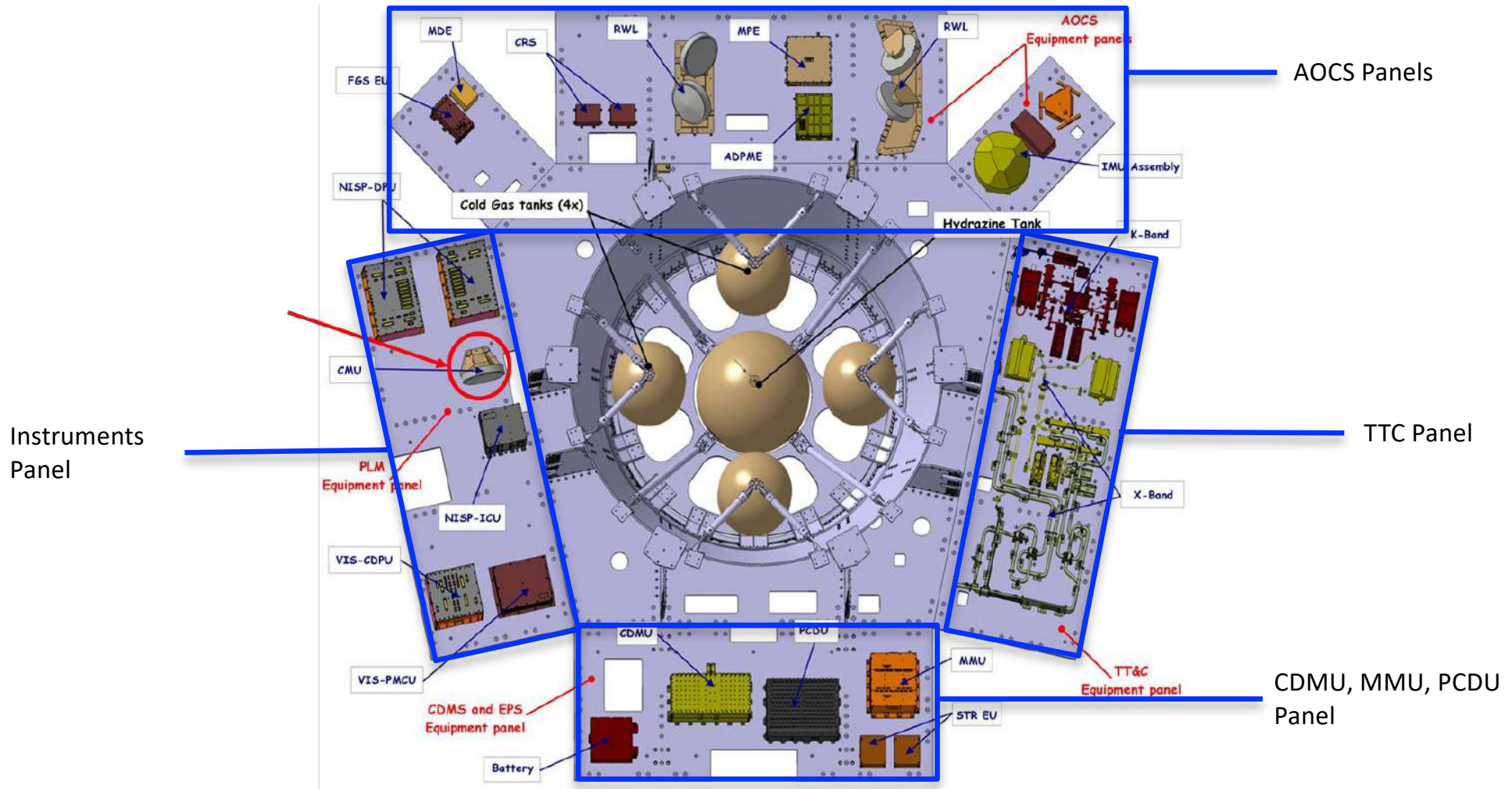


sunshield



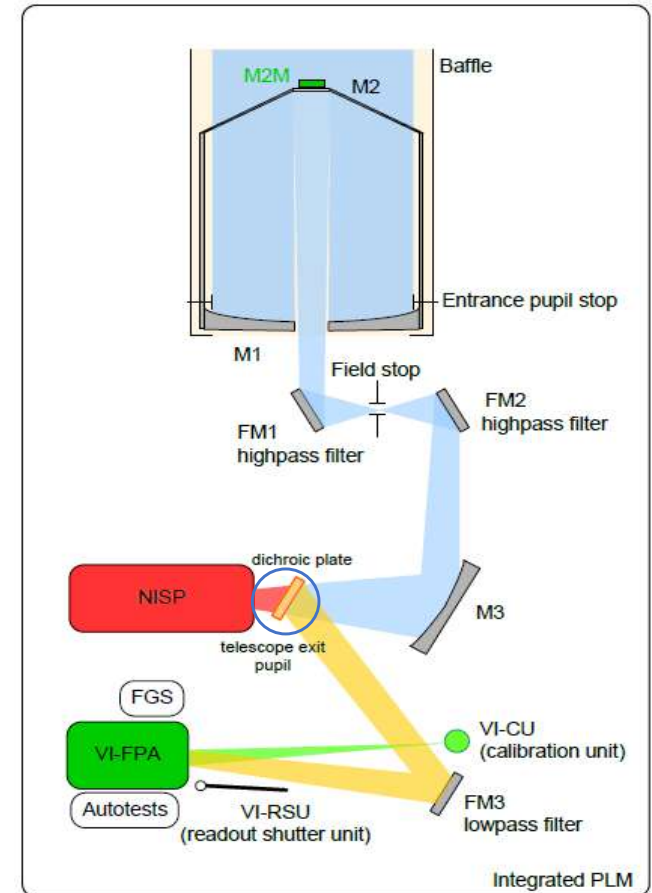
Service Module S/S units and P/L warm units

Euclid Service Module



Quelques chiffres

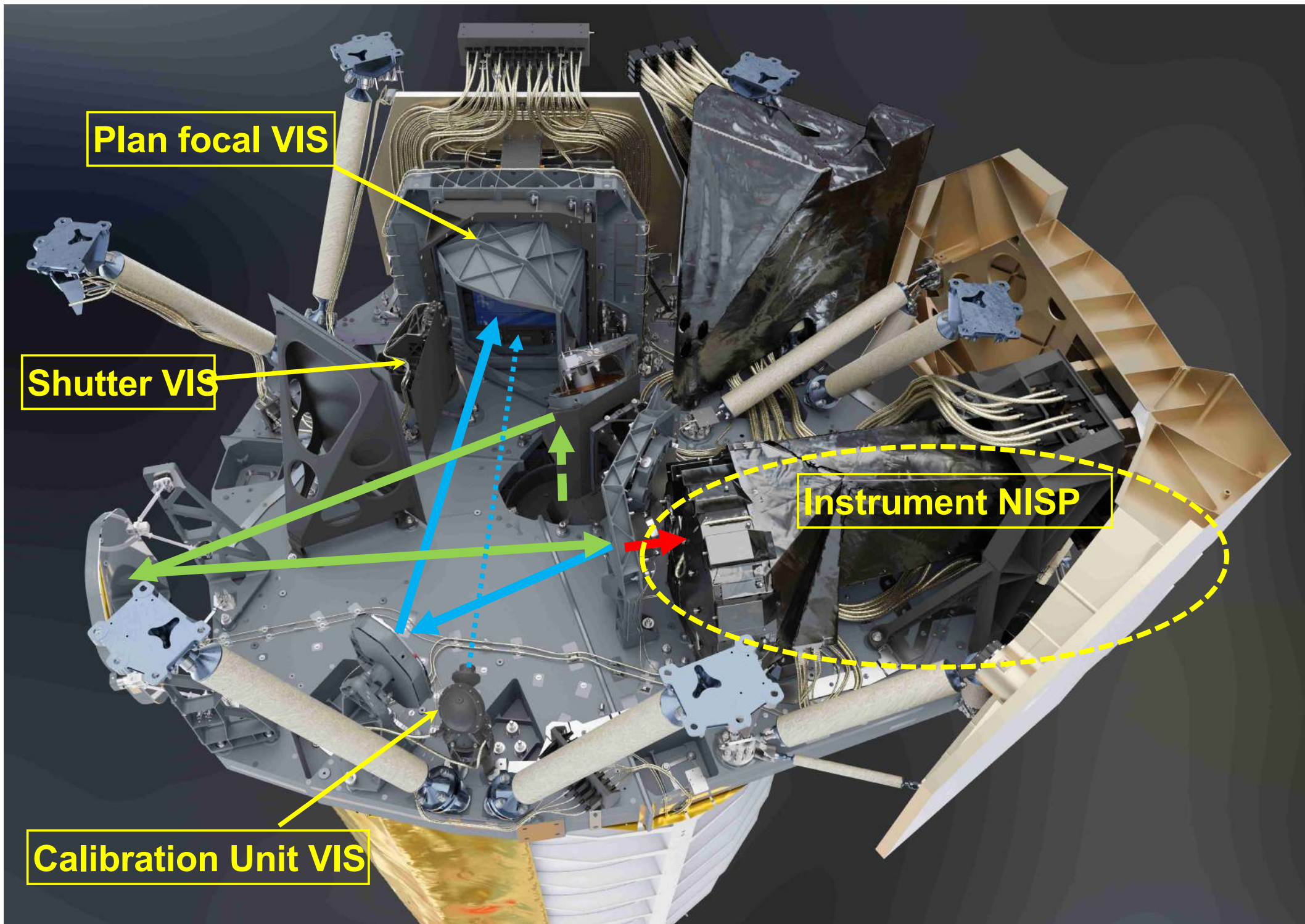
- 3-mirrors anastigmatic telescope Korsch, 24.5m focal
- Primary concave parabolic 1.2m, M2 hyperbolic convex, 2-flat mirrors, M3 concave elliptical, dichroic, flat mirror
- All SiC (CTE $0,4\mu\text{m}/\text{m}/\text{K}$), cold (135K), 0.54° FoV
- Spacecraft size: H 4.8 m, \varnothing 3.74 m, mass: 2,160 kg
- 3-axis stabilised: 75 mas RPE over 700s, 7.5 as APE: FGS (based on Gaia cat.), Gyro, ST, CSS, FSS, RW, CG μ P (N₂), RCS (Hyd.)
- CDMS based on Leon-FT, MMU 4Tb capacity, CFDP
- Solar array/shield 1.8-2.4 kW, 419 W battery, 310 Wh
- X and K-band T&C: 74 Mbps from L2, 70cm HGA
- Downlink 850 Gb/day, 4 hrs/day



EUCLID PLM



PLM Euclid



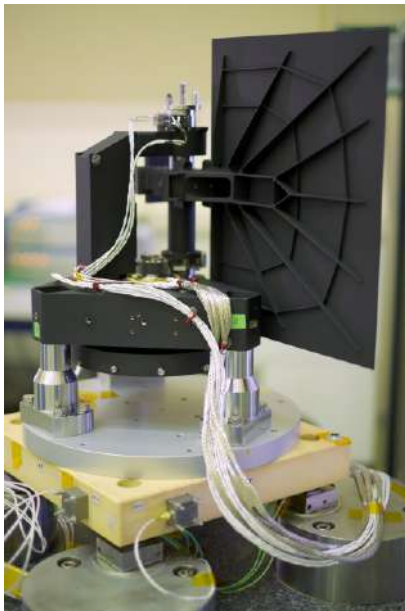
L'instrument VIS

- Objectif : obtenir des images visibles des galaxies avec une extrême qualité (exigences forte sur les mesures de forme, la stabilité, la photométrie)
- 1.5 milliards de galaxies ($m < 24,5$) mesurées $SNR > 10$
- Environ **50 000 galaxies mesurées par prise de vue**
- 36 CCD de 4000 x 4000 pixels (600 Millions de pixels sur 877cm²) avec fov de 0.1 arcsec sur le ciel
=> champ de vue instantané : 0,54 degré carré
- Gros instrument : masse totale ≈ 135 kg
- Data-rate: ≤ 520 Gbits/par jour
- Instrument « distribué » en plusieurs unités physiquement indépendantes dans le PayLoad Module (PLM Airbus DS)
- Responsabilité instrument VIS : MSSSL / UK
- Forte participation française : 3 des 5 sous-systèmes

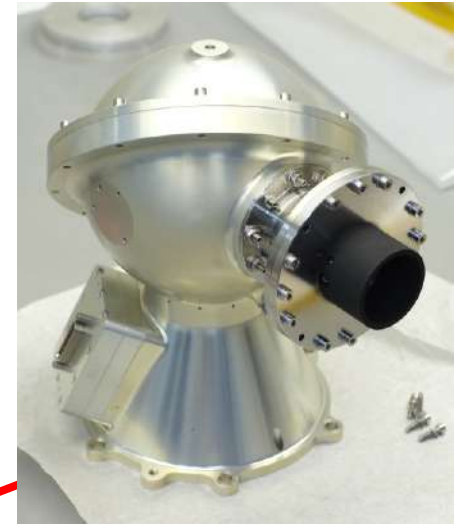
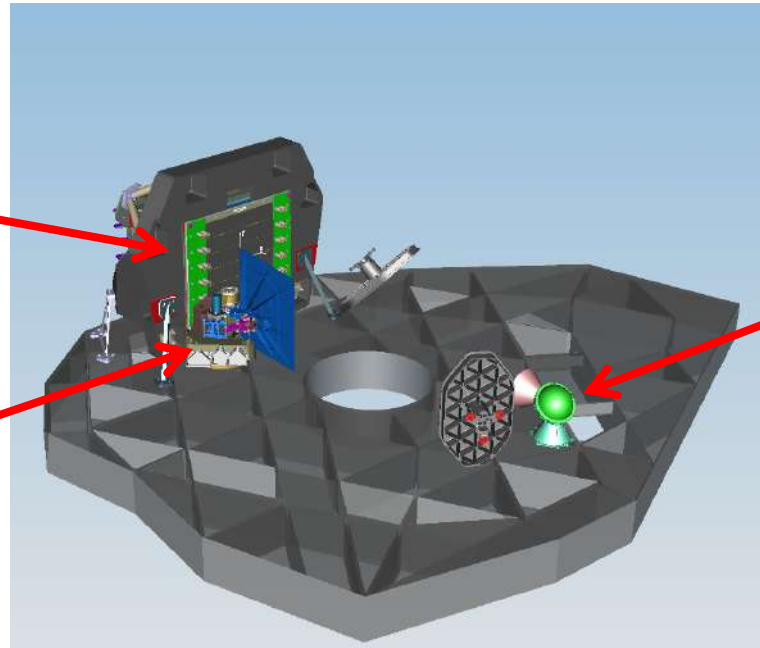
Euclid VIS Instrument comprises 5 units



FPA
(Focal Plane Array)



RSU
(Readout
Shutter Unit)



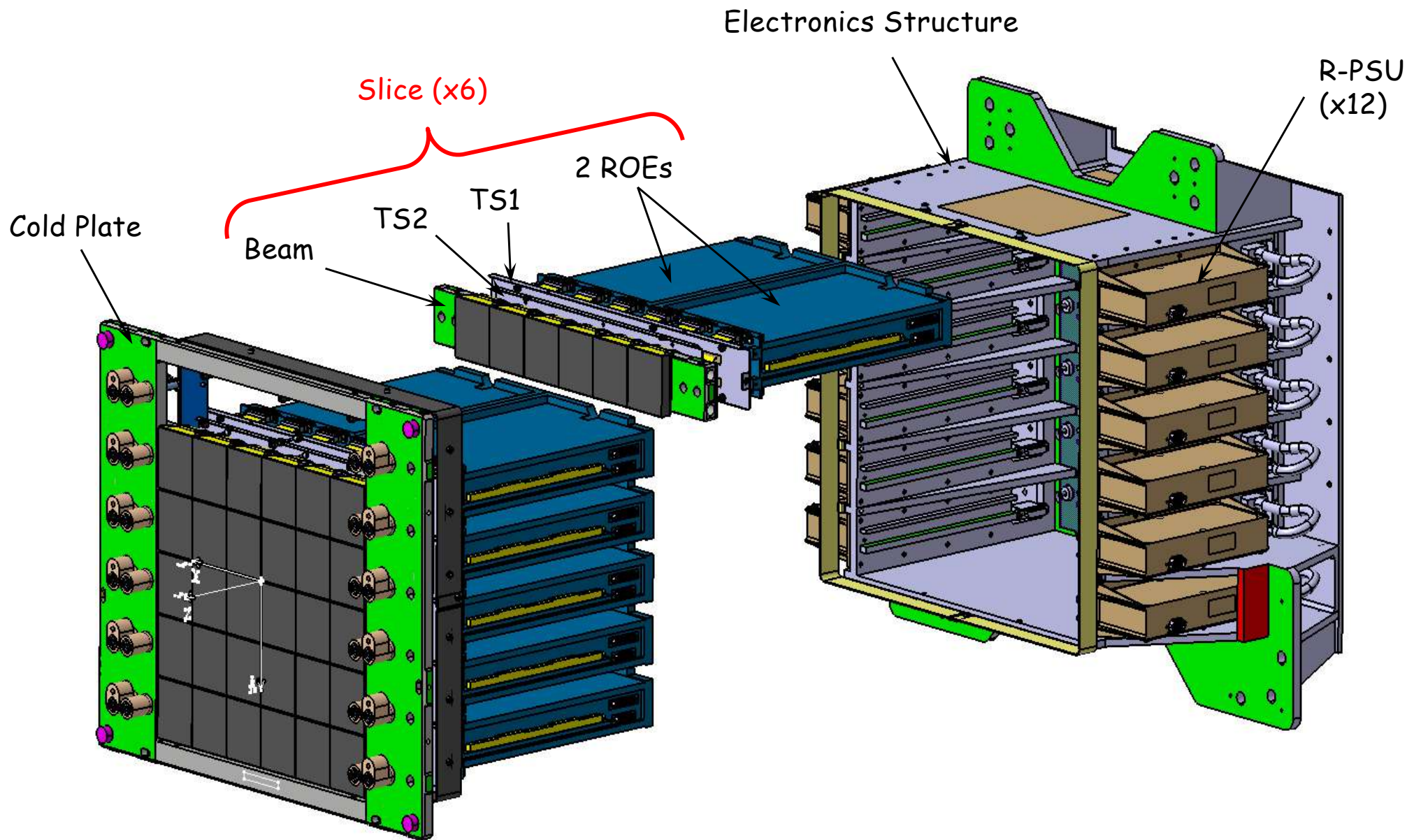
CU
(Calibration Unit)

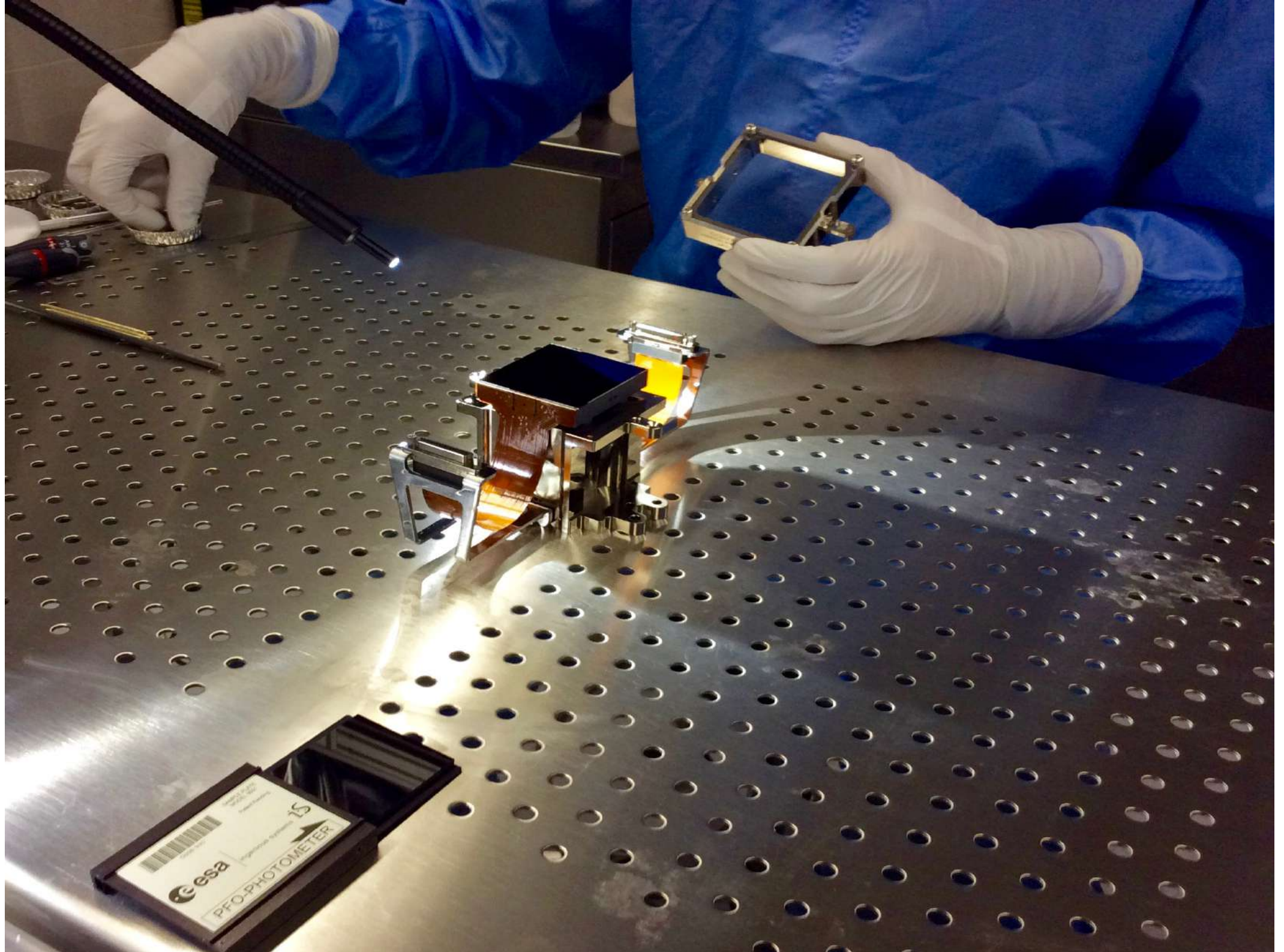


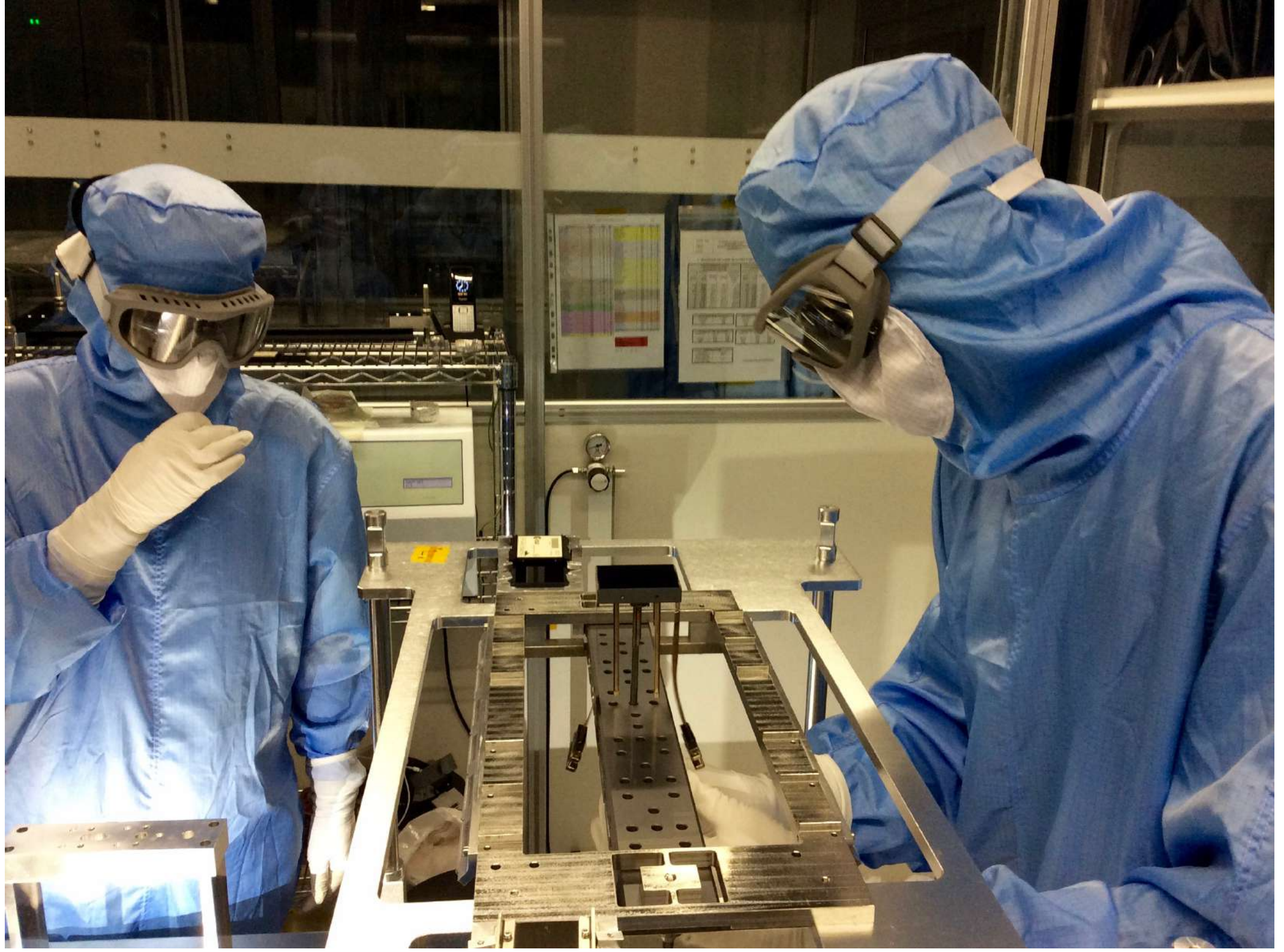
Warm **CDPU & PMCU**
located in SVM

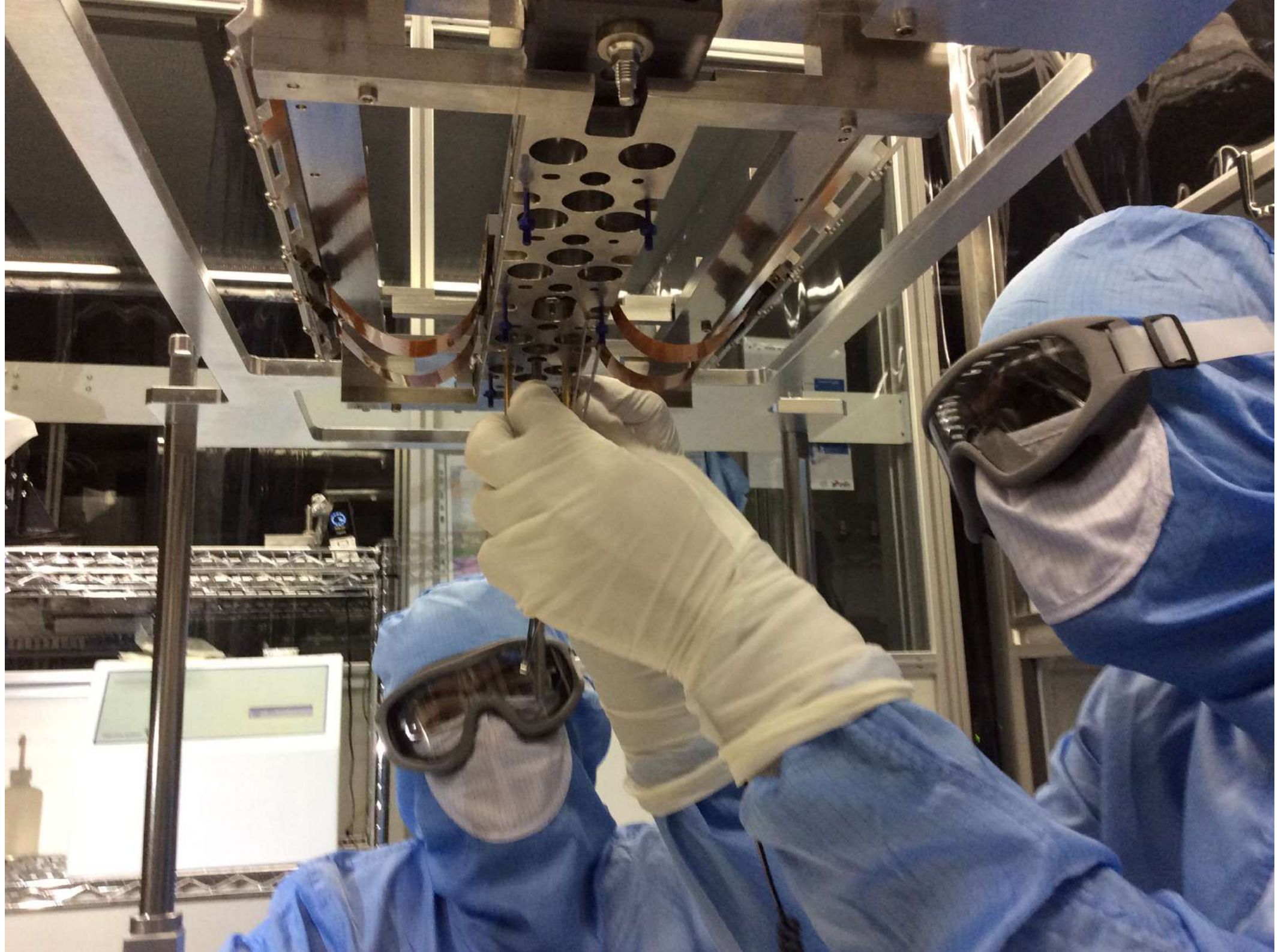


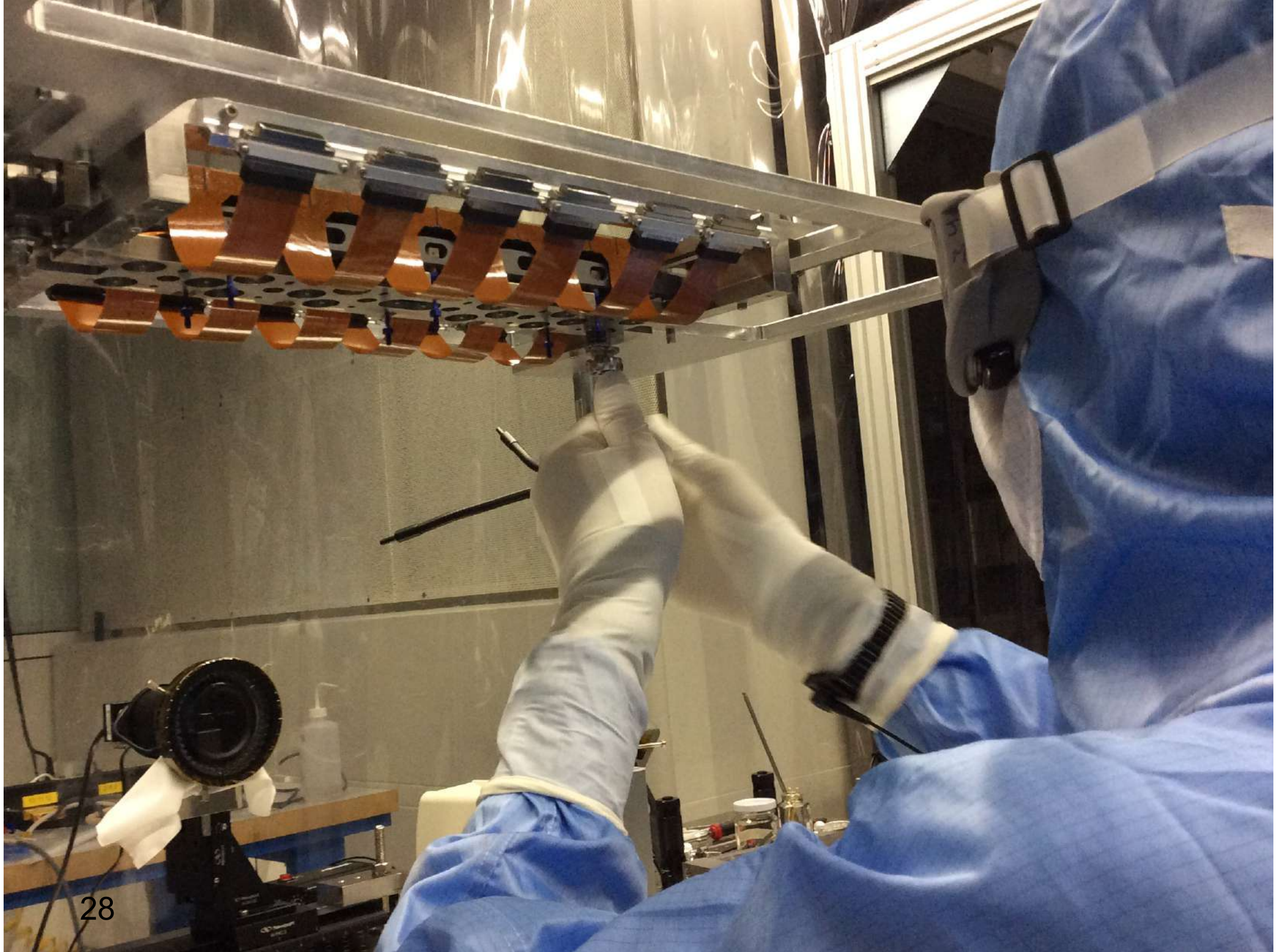
LE FPA D'UN POINT DE VUE AIT

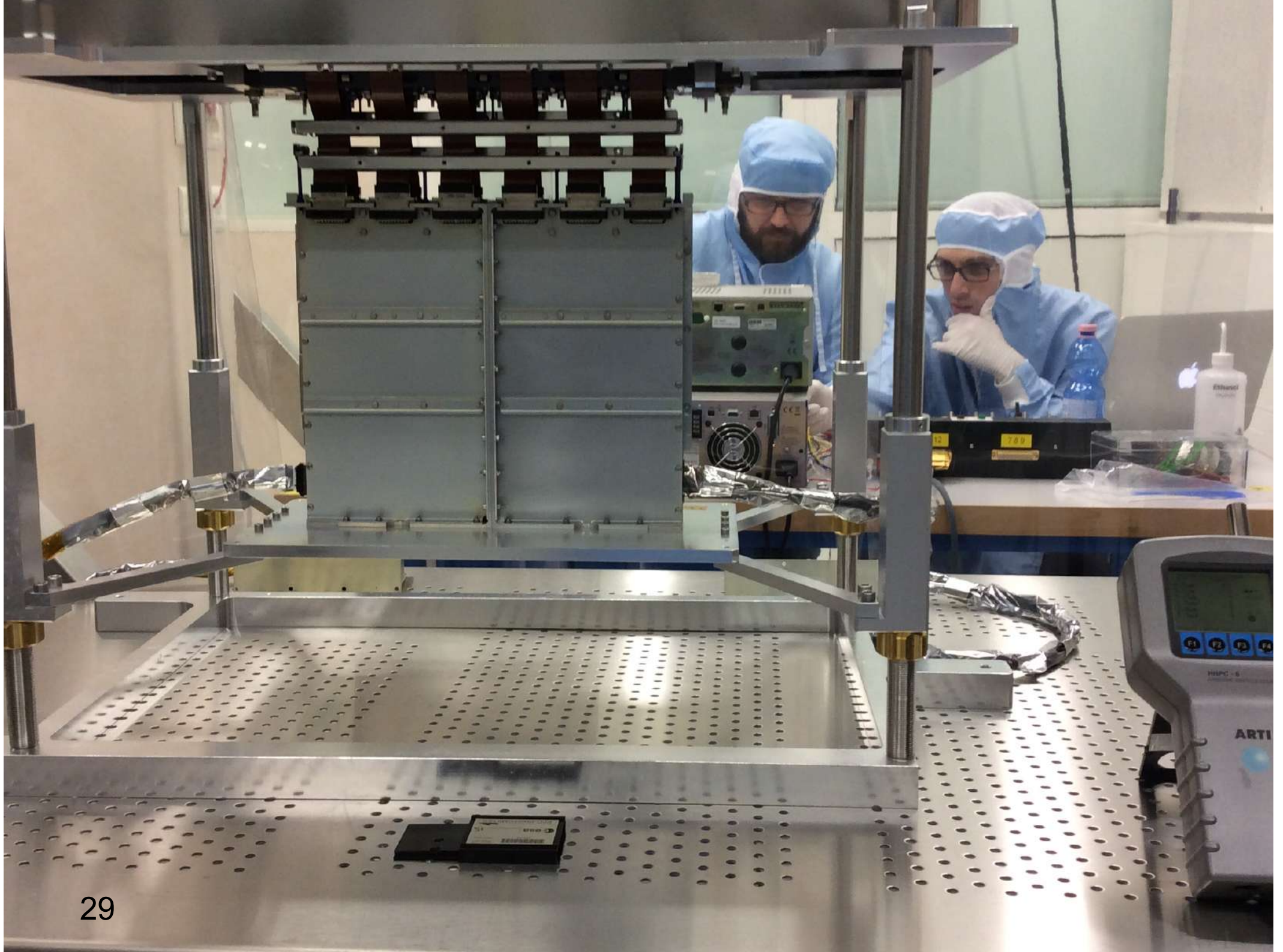






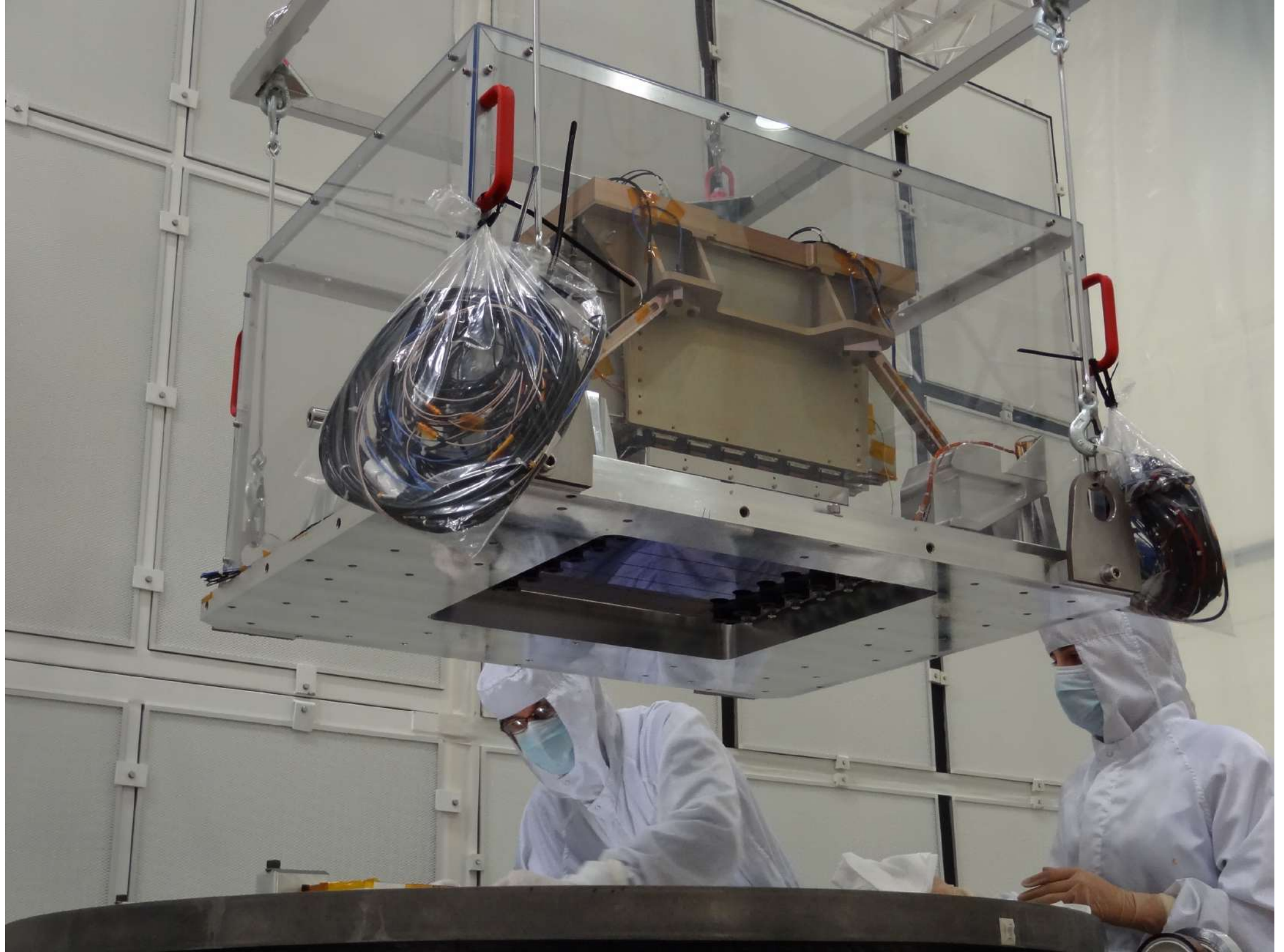












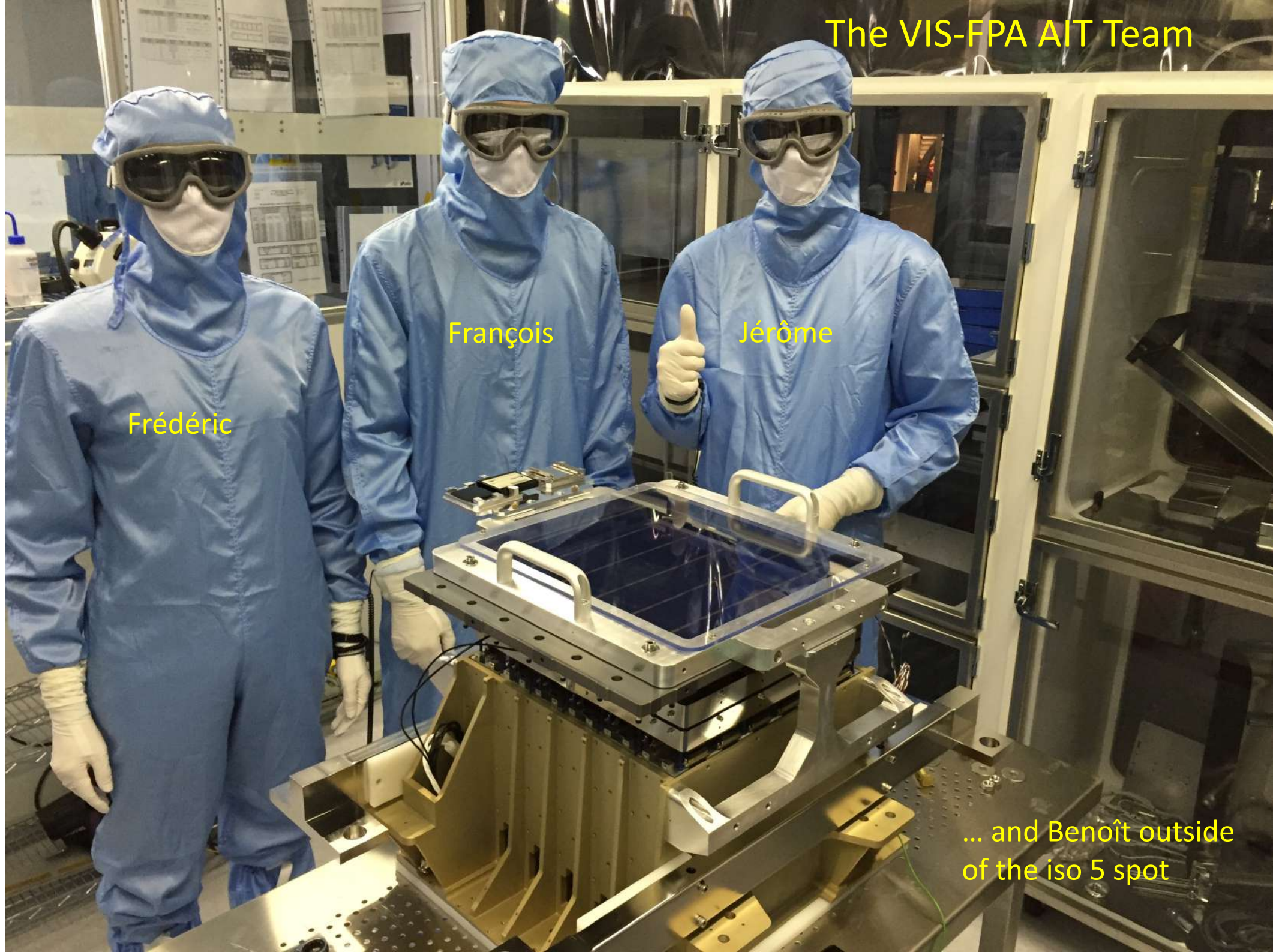
The VIS-FPA AIT Team

Frédéric

François

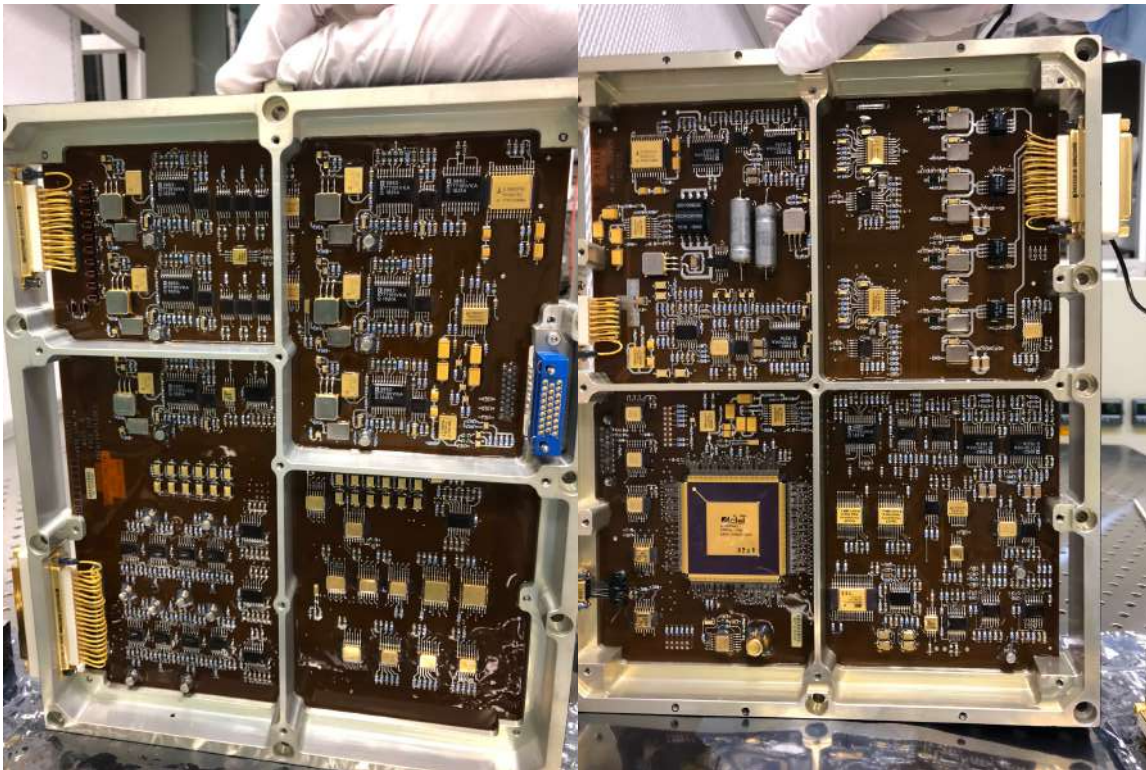
Jérôme

... and Benoît outside
of the iso 5 spot

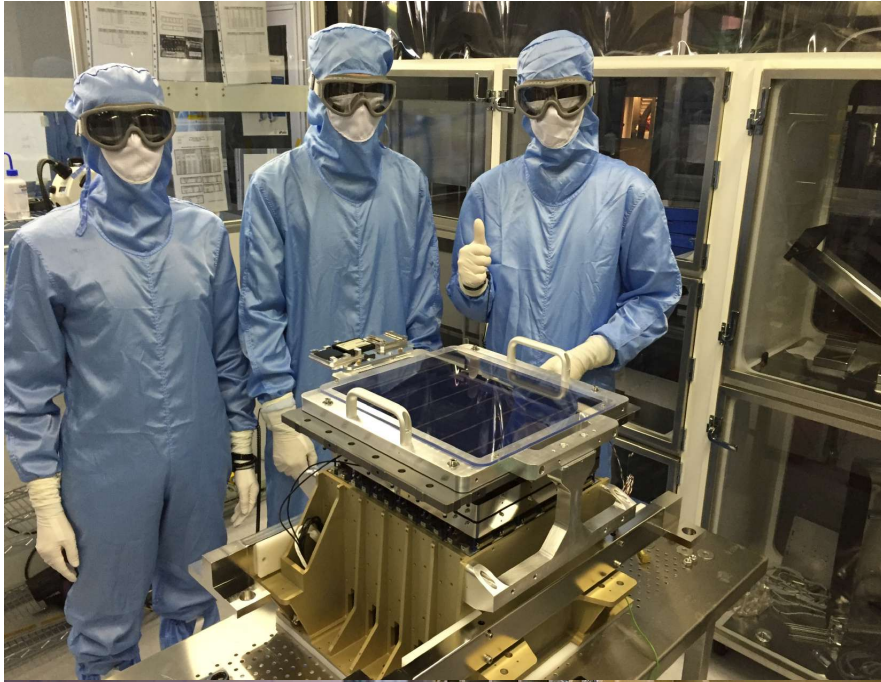


VIS FM : PMCU

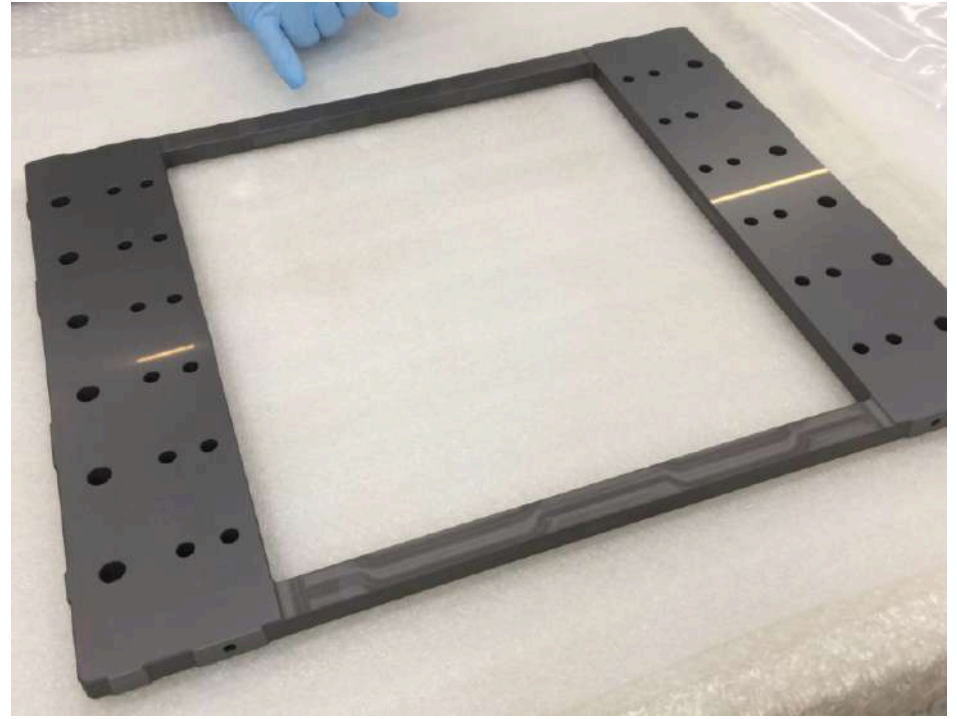
- Fourniture Française (CEA)
- PMCU FM assemblé et testé fonctionnellement
- Essais de recettes en cours
- Livraison en Janvier 2019
- PMCU FS réalisé et testé en même temps que le FM



VIS FM : Plan focal



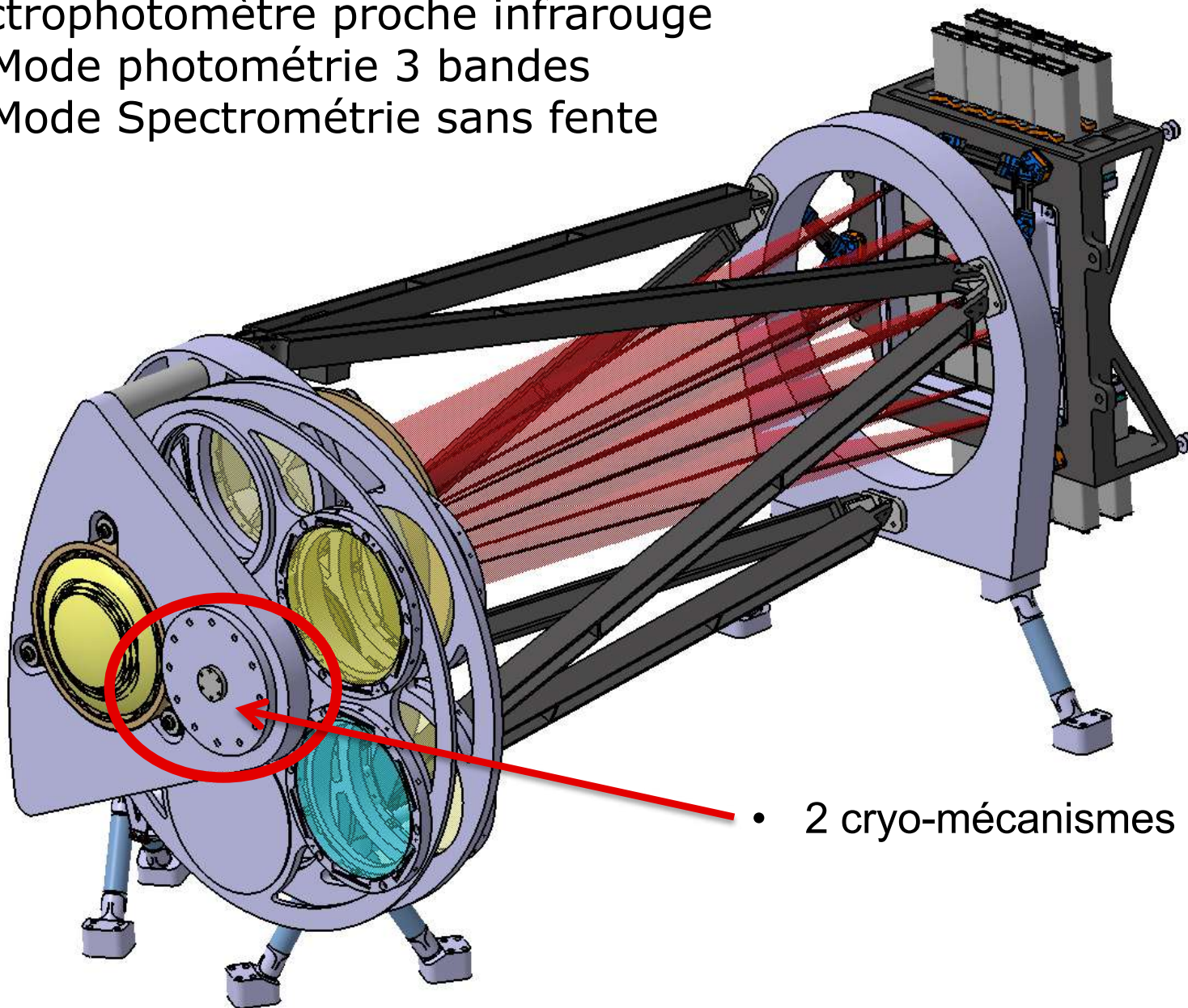
- Fourniture Française (CEA)
- Programme STM (équivalent qualification) terminé : l'ensemble des procédures et des moyens sols sont en place
- Toutes les pièces FM sont réalisées
- En attente des chaînes de détections FM
- **Début intégration FM en Juin 2019 !**
- **Livraison FM : 5 mois après livraison des dernières chaînes de détection => Déc 2019**



L'instrument NISP

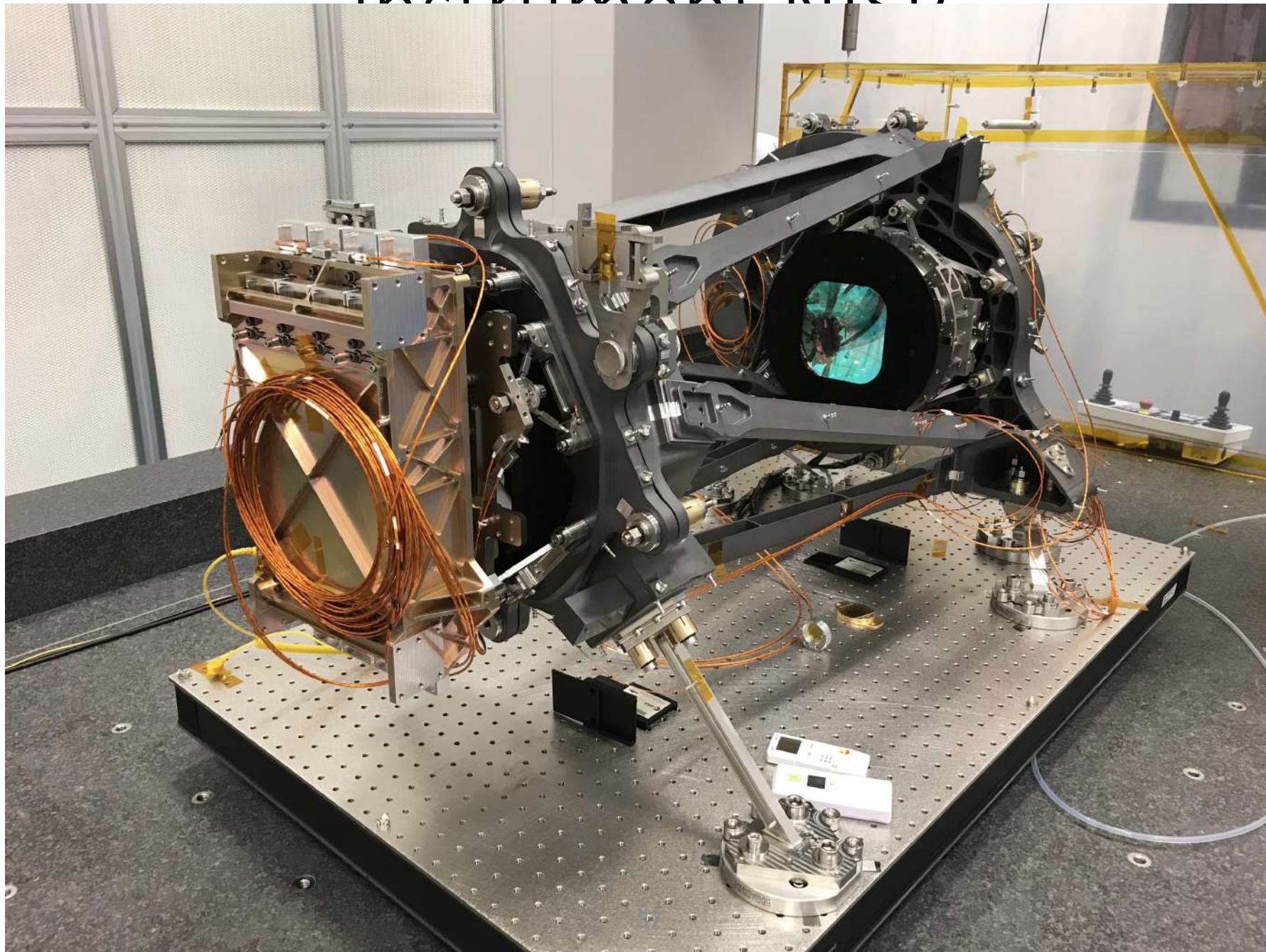
Near Infrared Photo Spectrometer

- Responsabilité LAM et CNES (Fr)
- Spectrophotomètre proche infrarouge
 - Mode photométrie 3 bandes
 - Mode Spectrométrie sans fente



- 2 cryo-mécanismes CEA

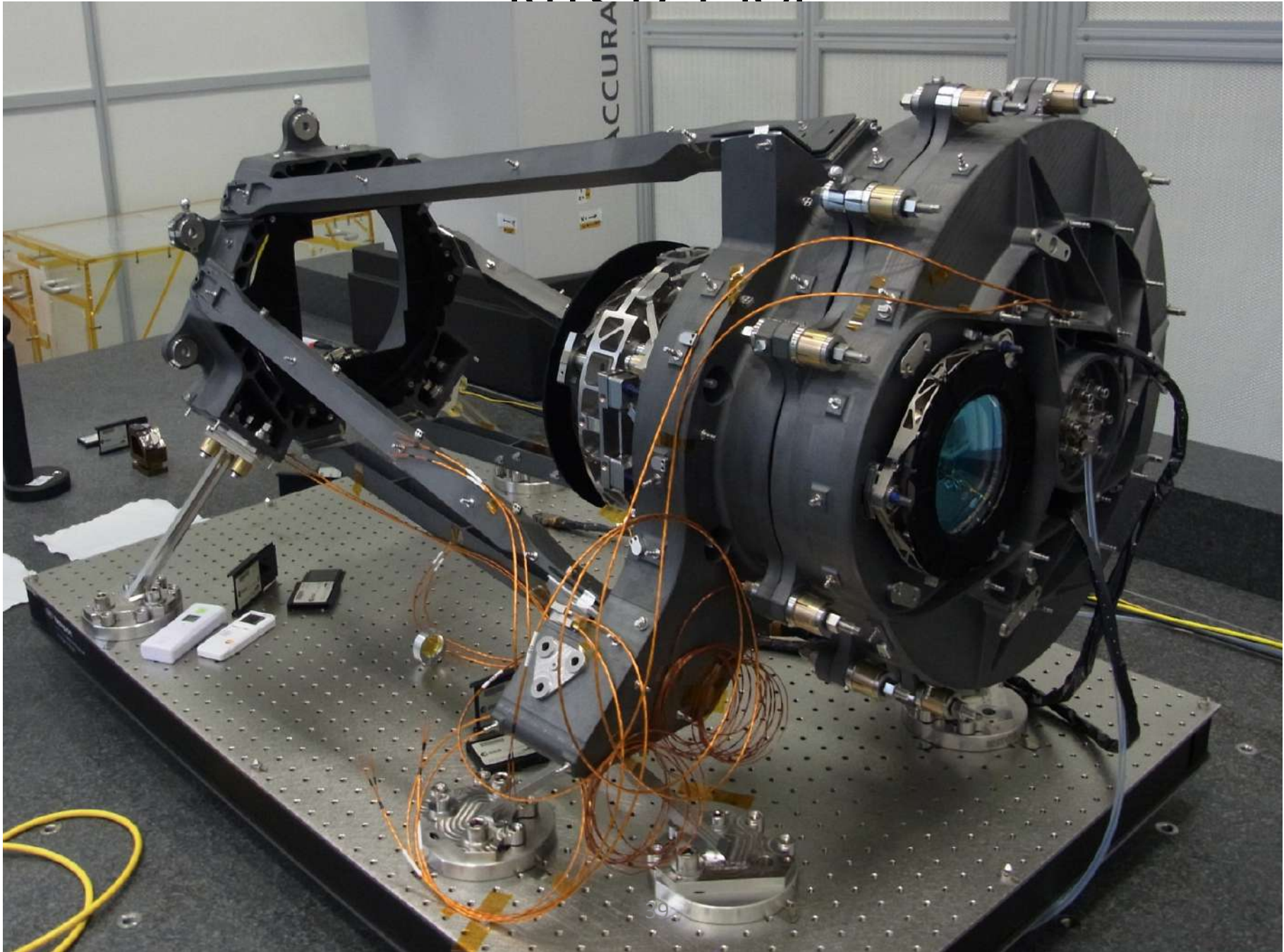
Instrument MICH



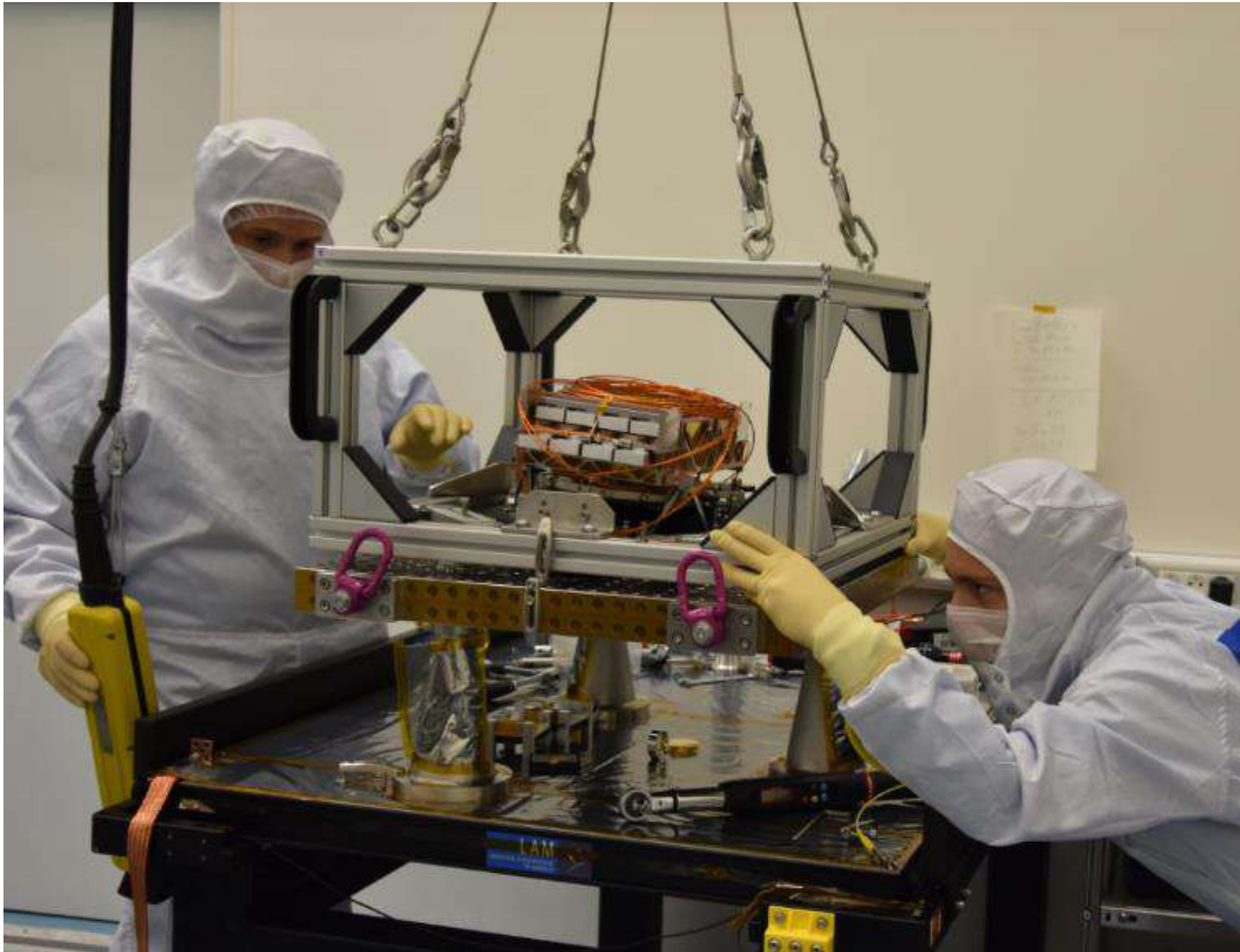
NISD Engineering Model



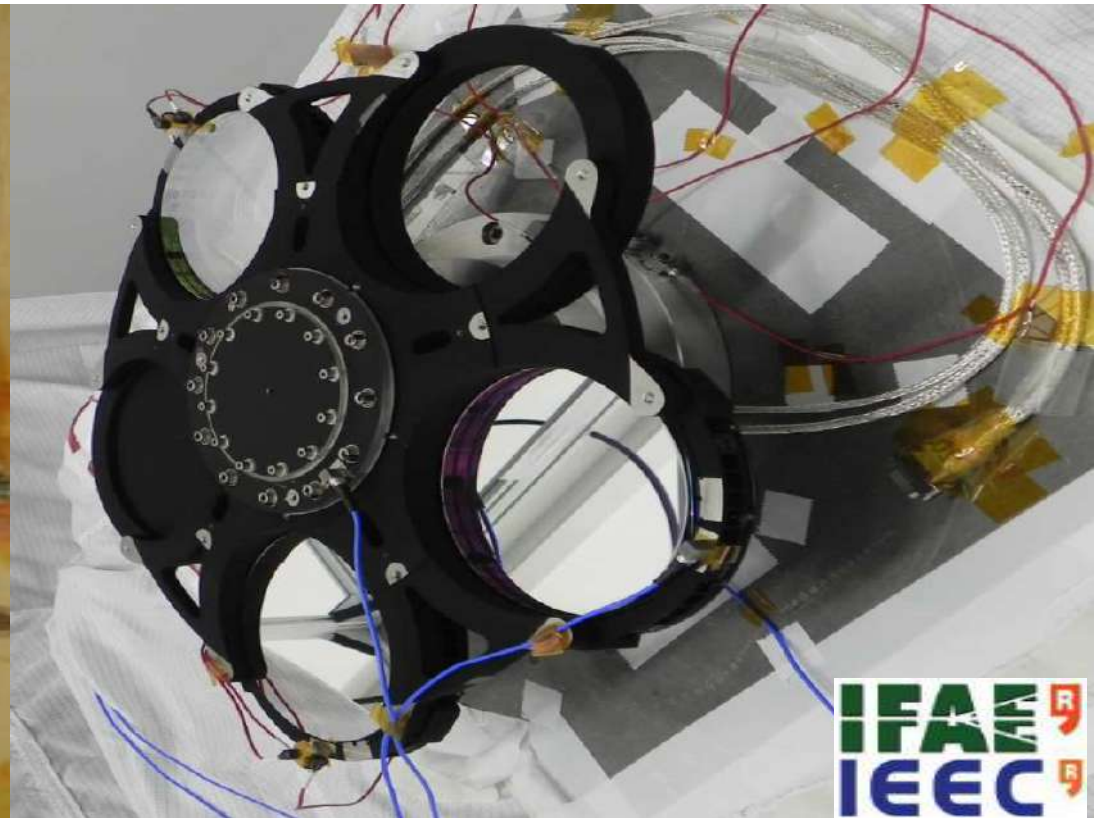
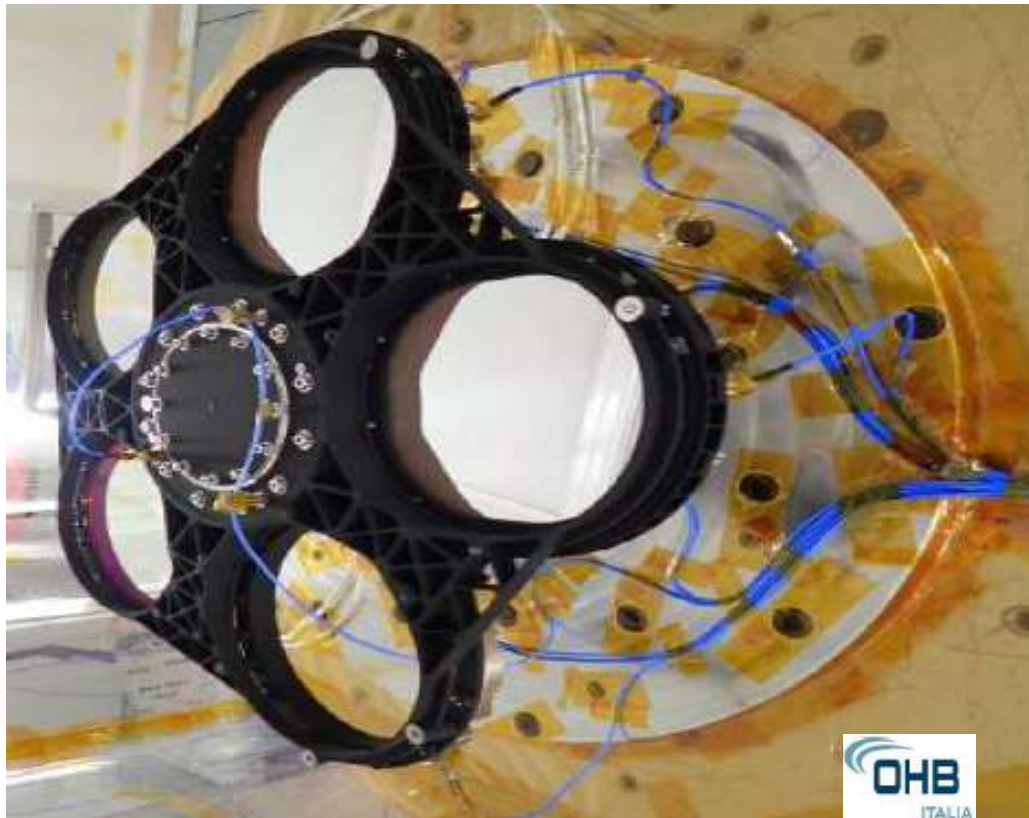
NICD EM



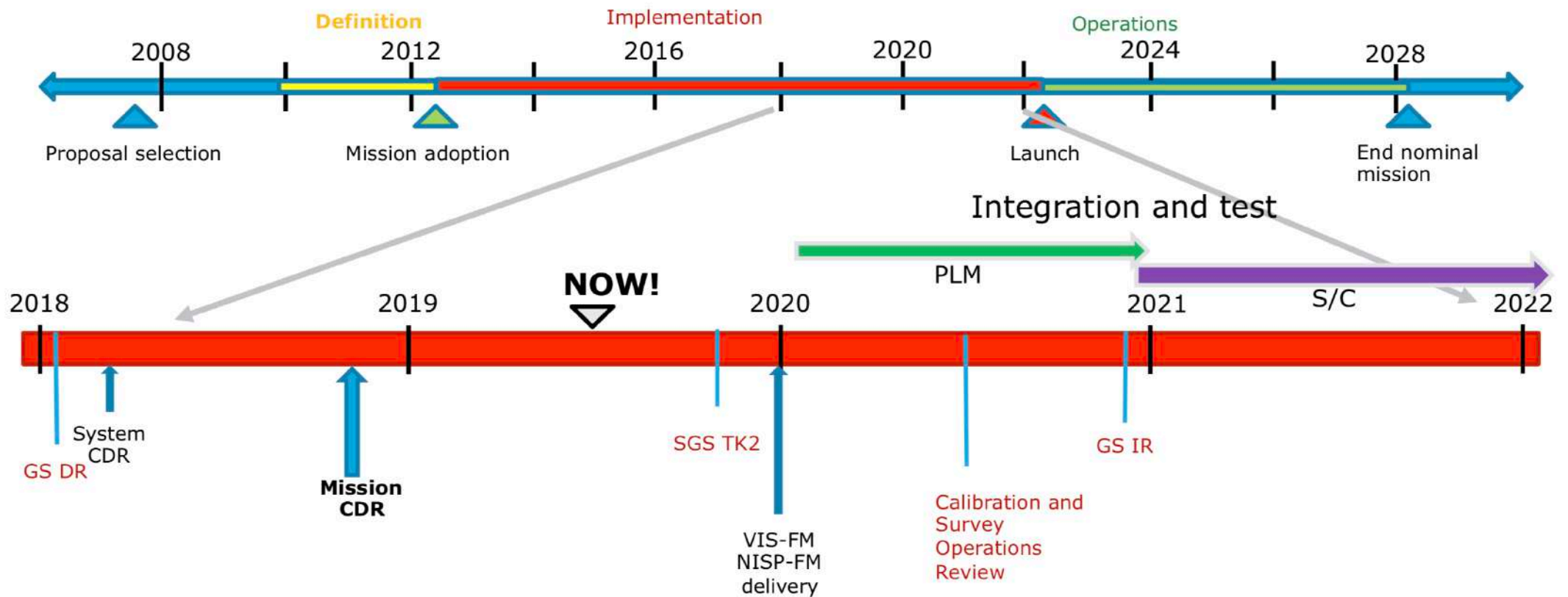
Plan Focal NISP



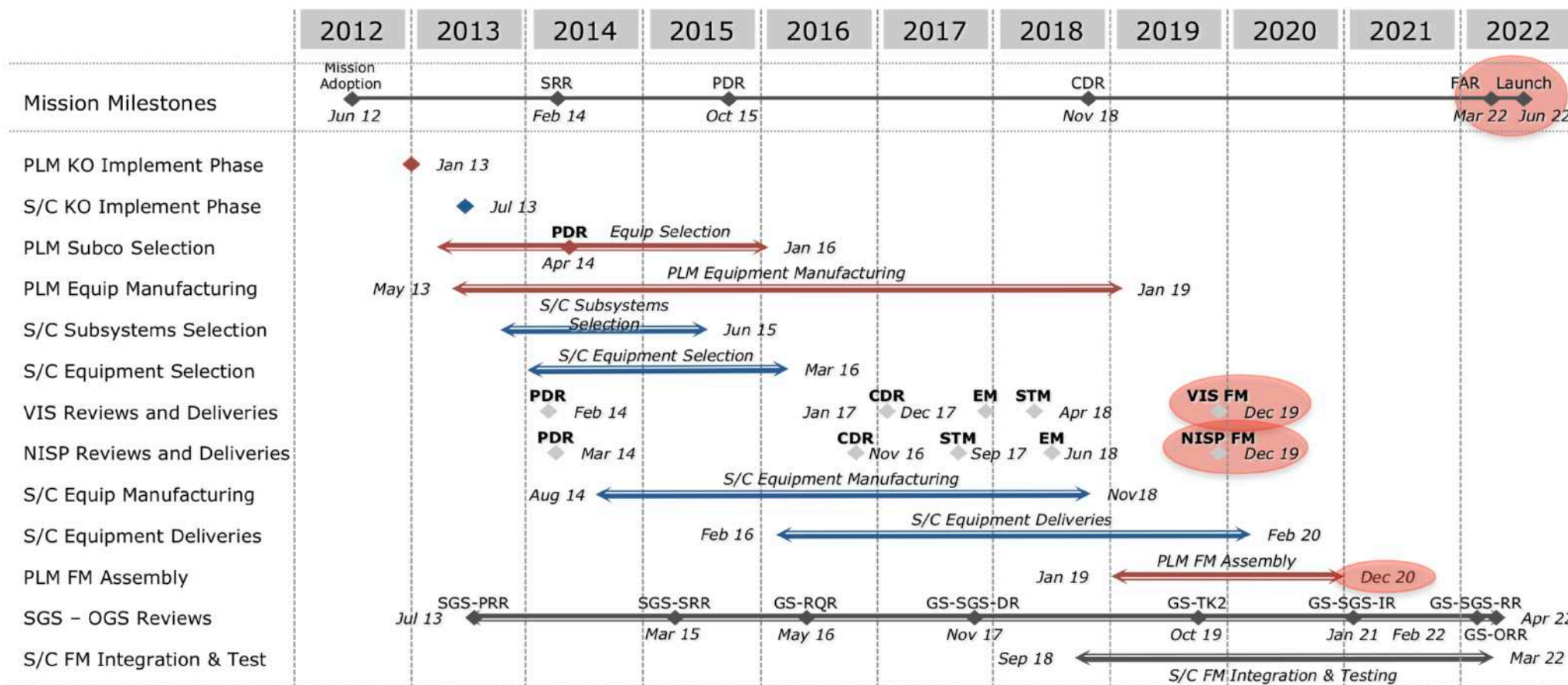
LES ROUES NISP FM avec les cryo- moteurs CEA



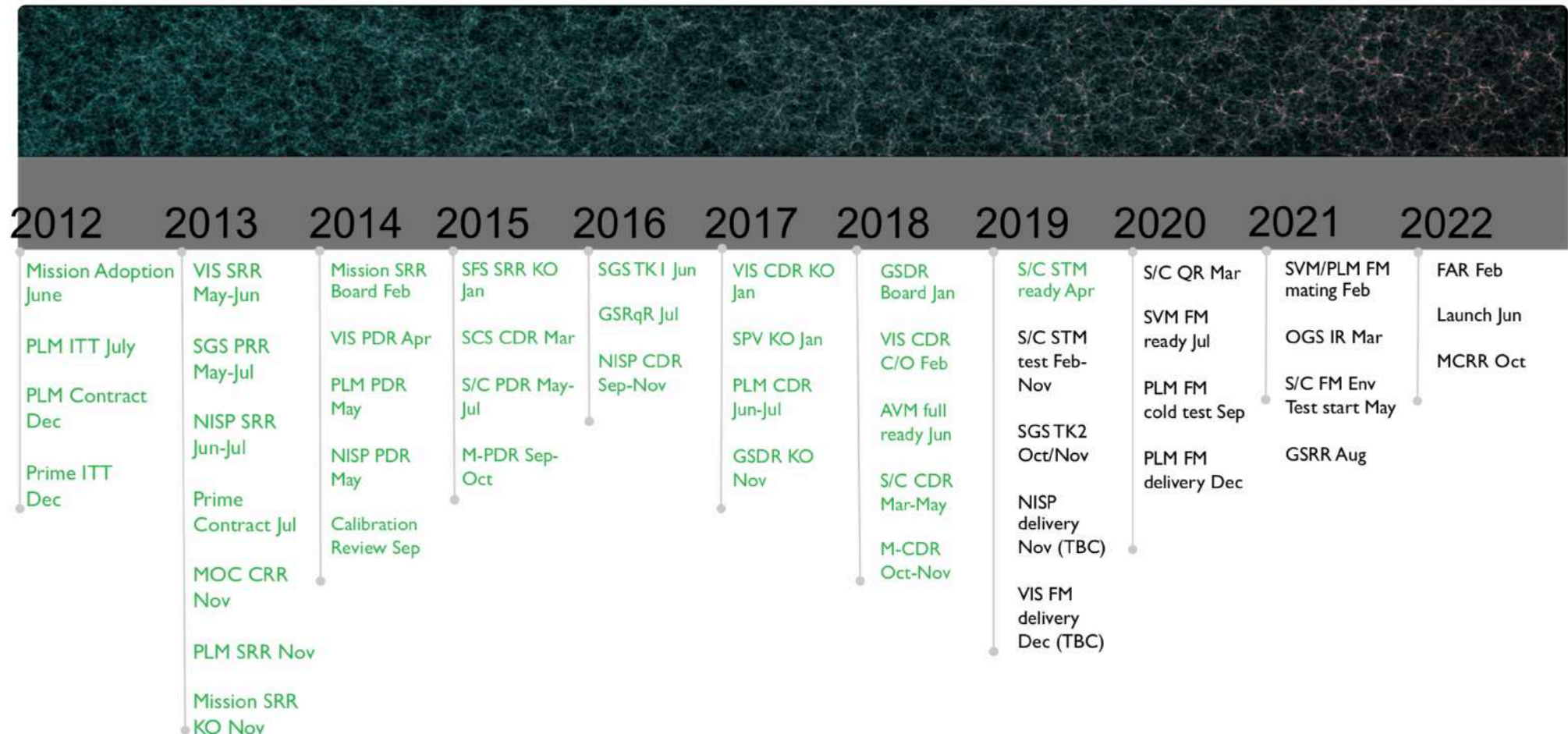
Overview mission timeline



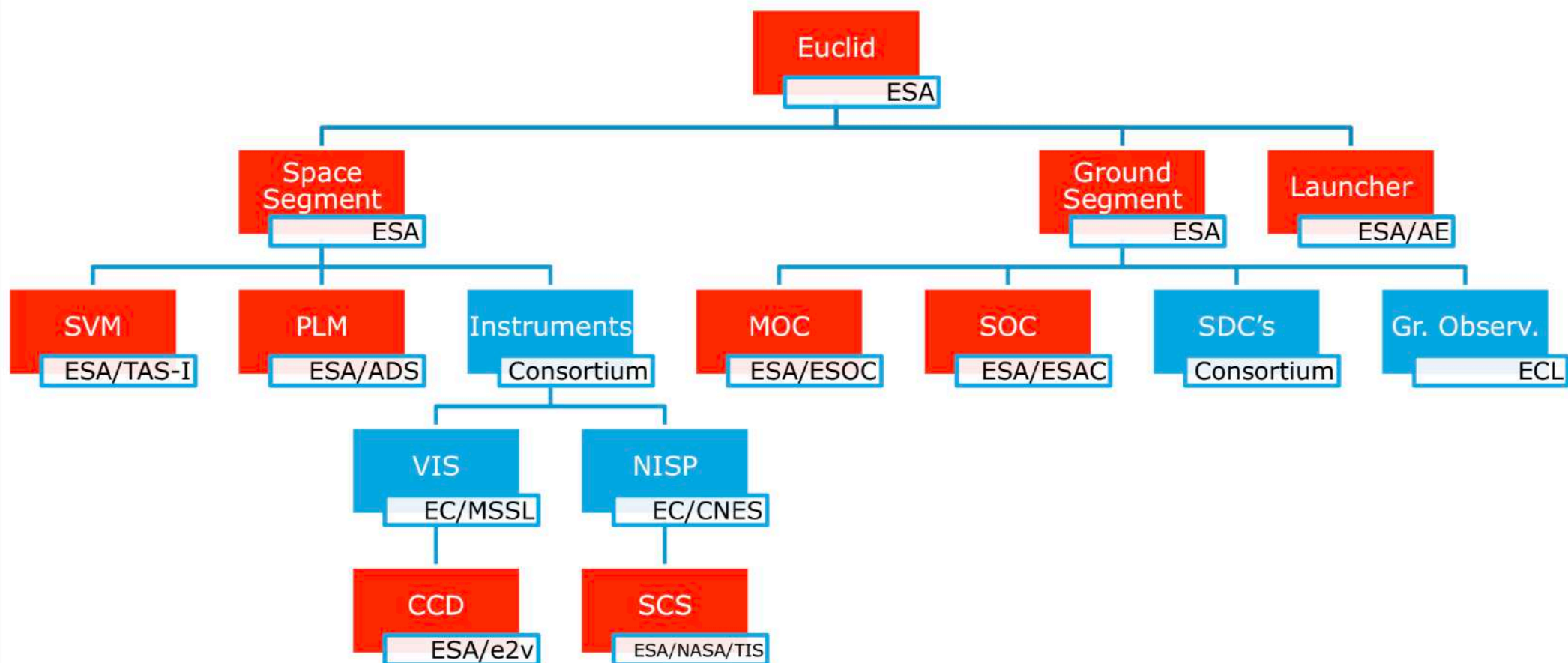
Euclid Schedule: Helsinki 2019



Development – Planning/Progress Overview



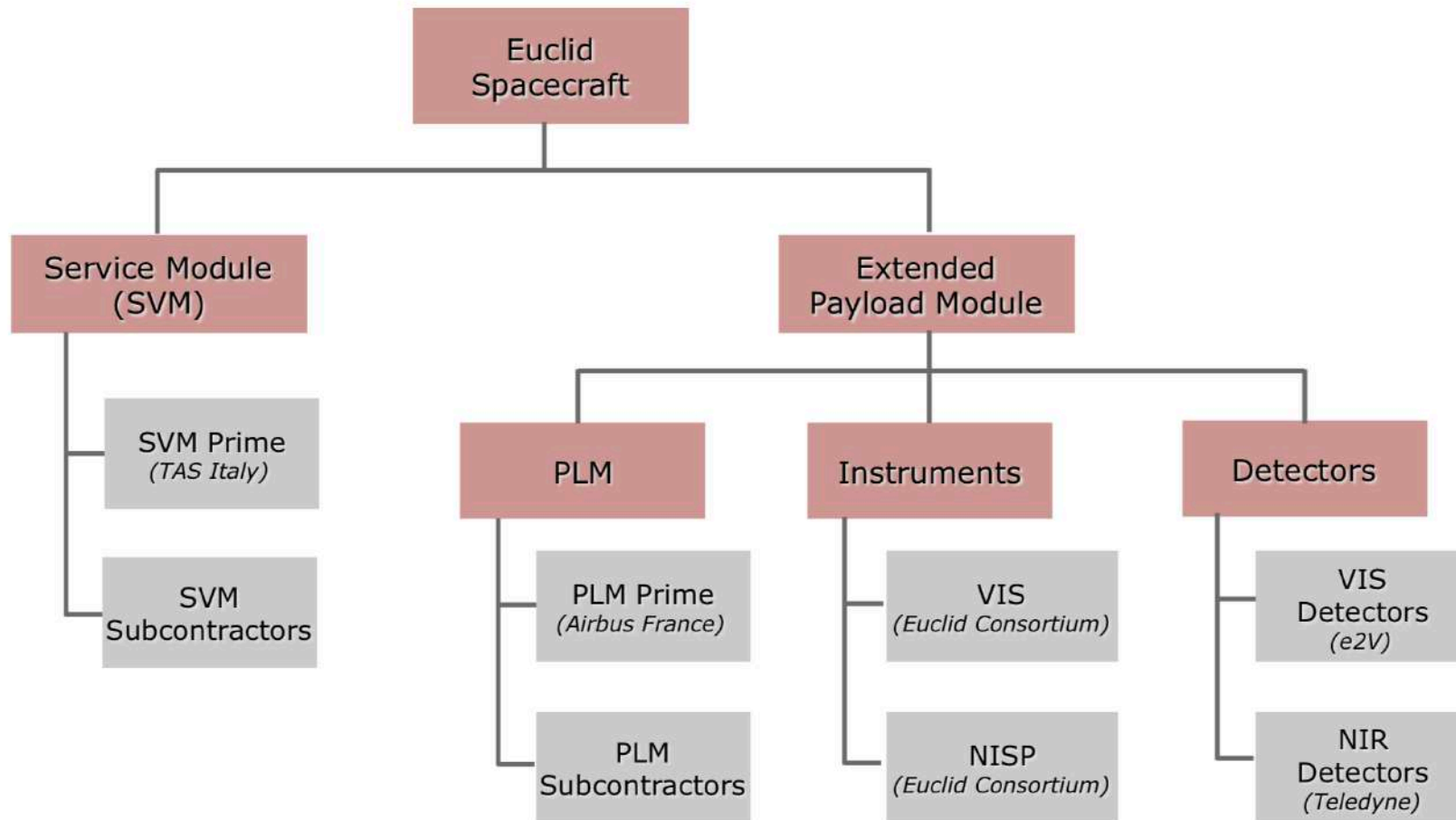
Euclid Product Tree



ESA UNCLASSIFIED - For Official Use

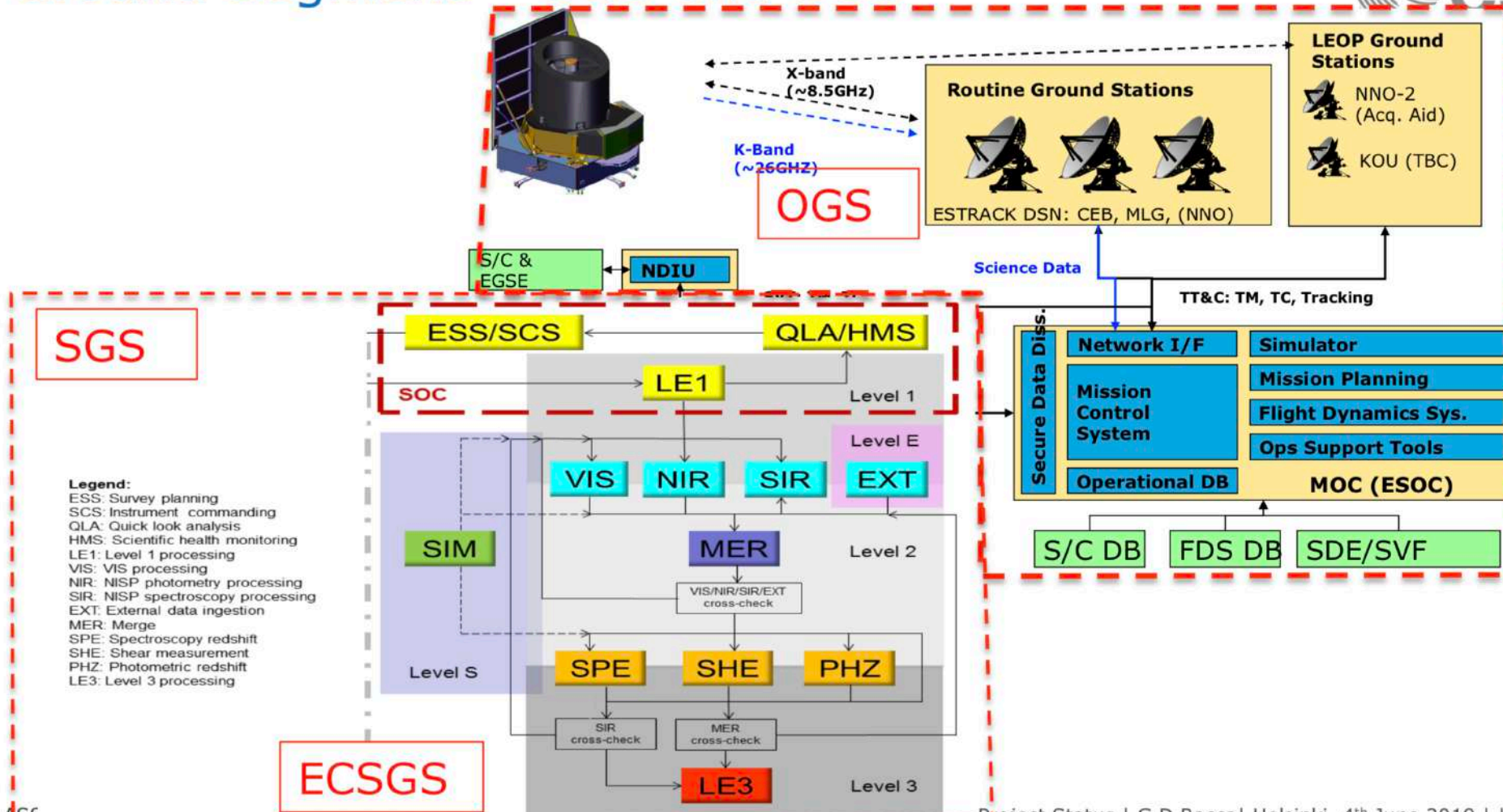
Euclid Consortium meeting 2019 | Project Status | G.D.Racca | Helsinki, 4th June 2019 | | Slide 3

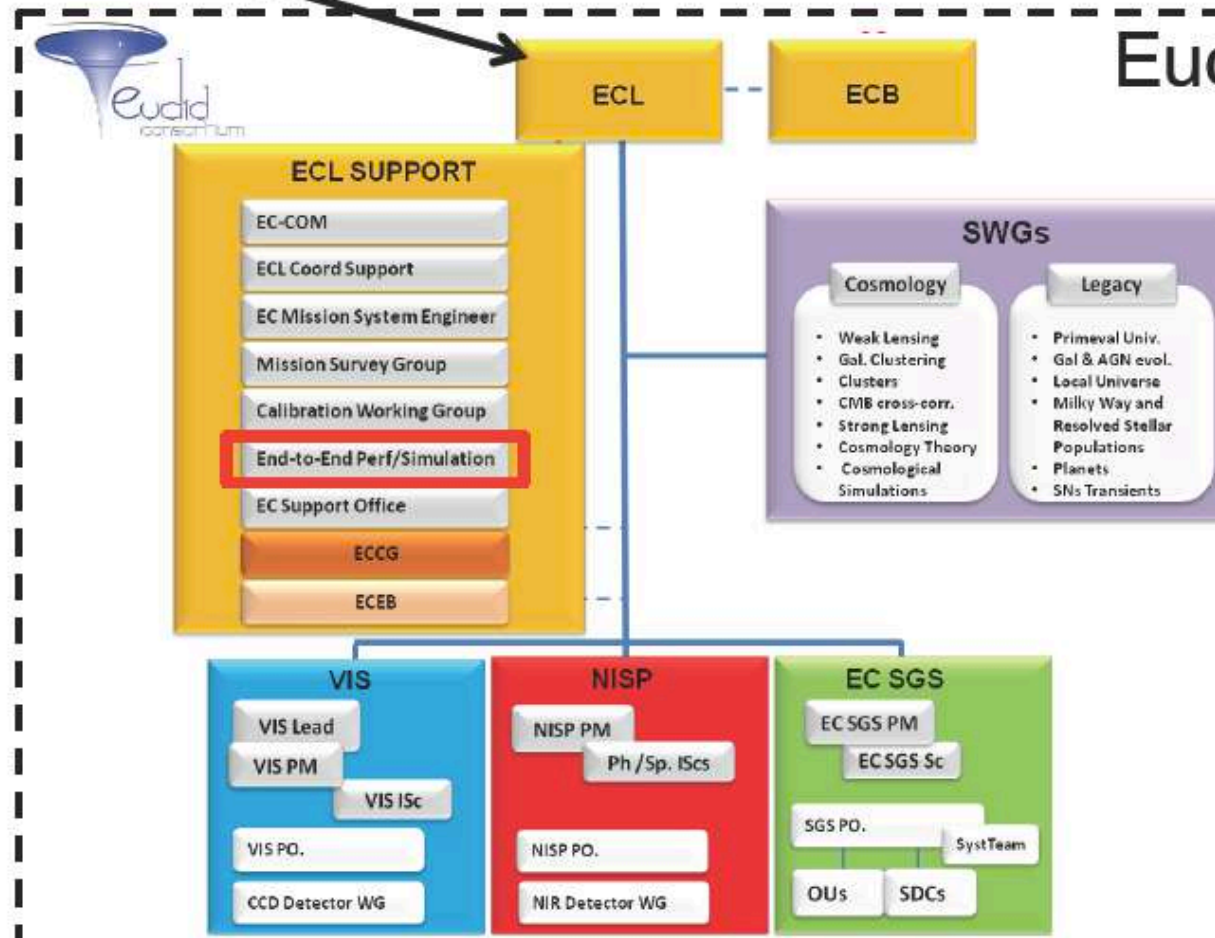
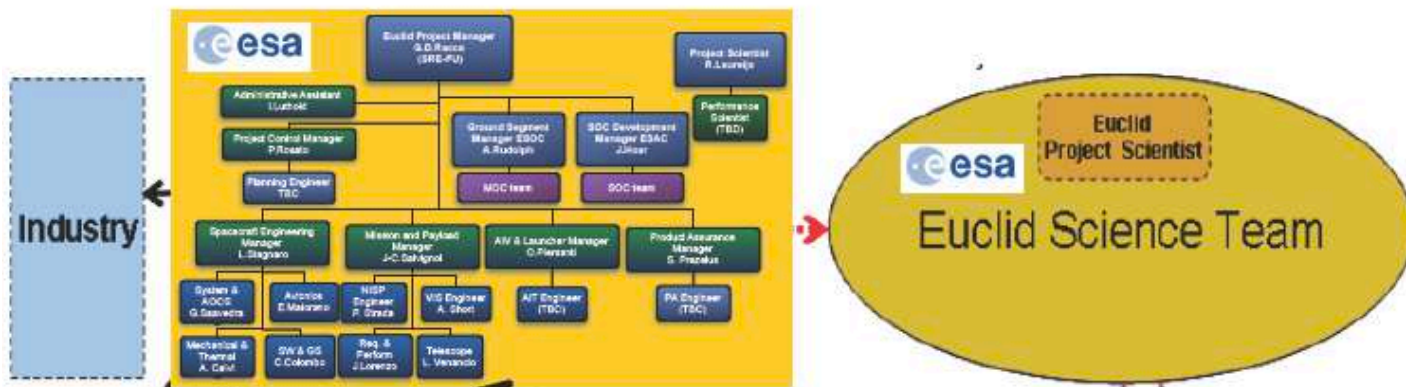
Space Segment Product Tree 1/3



- Node of the Product Tree
- Item in Competition
- Item already assigned

Ground Segment – OGS and SGS

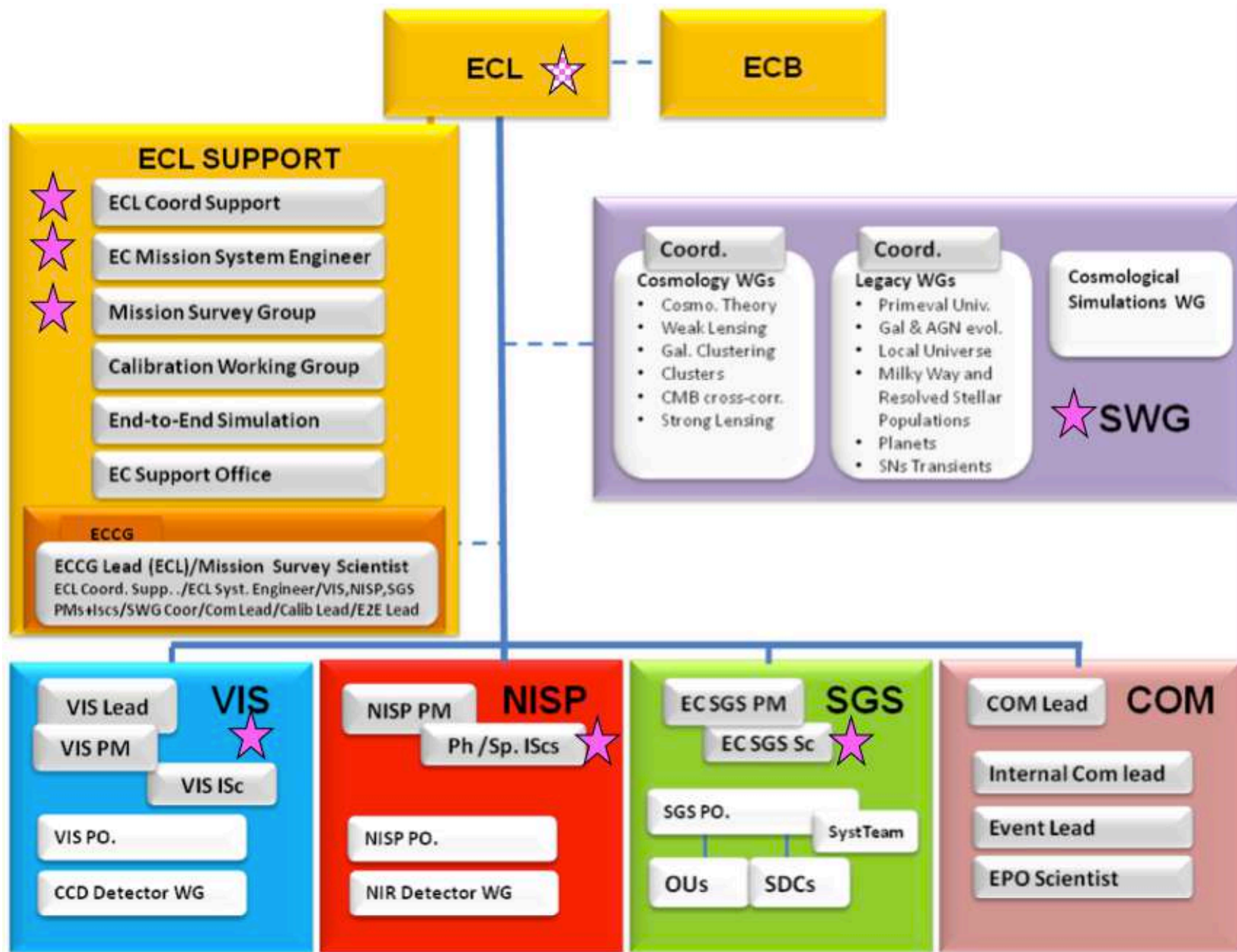




Euclid Consortium

- EC: JUN 05 2017:**
- 16 countries
 - 220 labs
 - 1447 *Full* members
 - 72 members *at Large*
 - 190 *Alumni*

Le CEA/IRFU dans le Consortium Euclid



INTRODUCTION

CEA Department for astrophysics : DAp AIM “Astrophysics, Instrumentation, & Modelling”

Nature: joint research unit

Supervisory body:

- The French Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA)
- The National Centre for Scientific Research (CNRS)
- Paris Diderot University

DAP missions and scientific domains

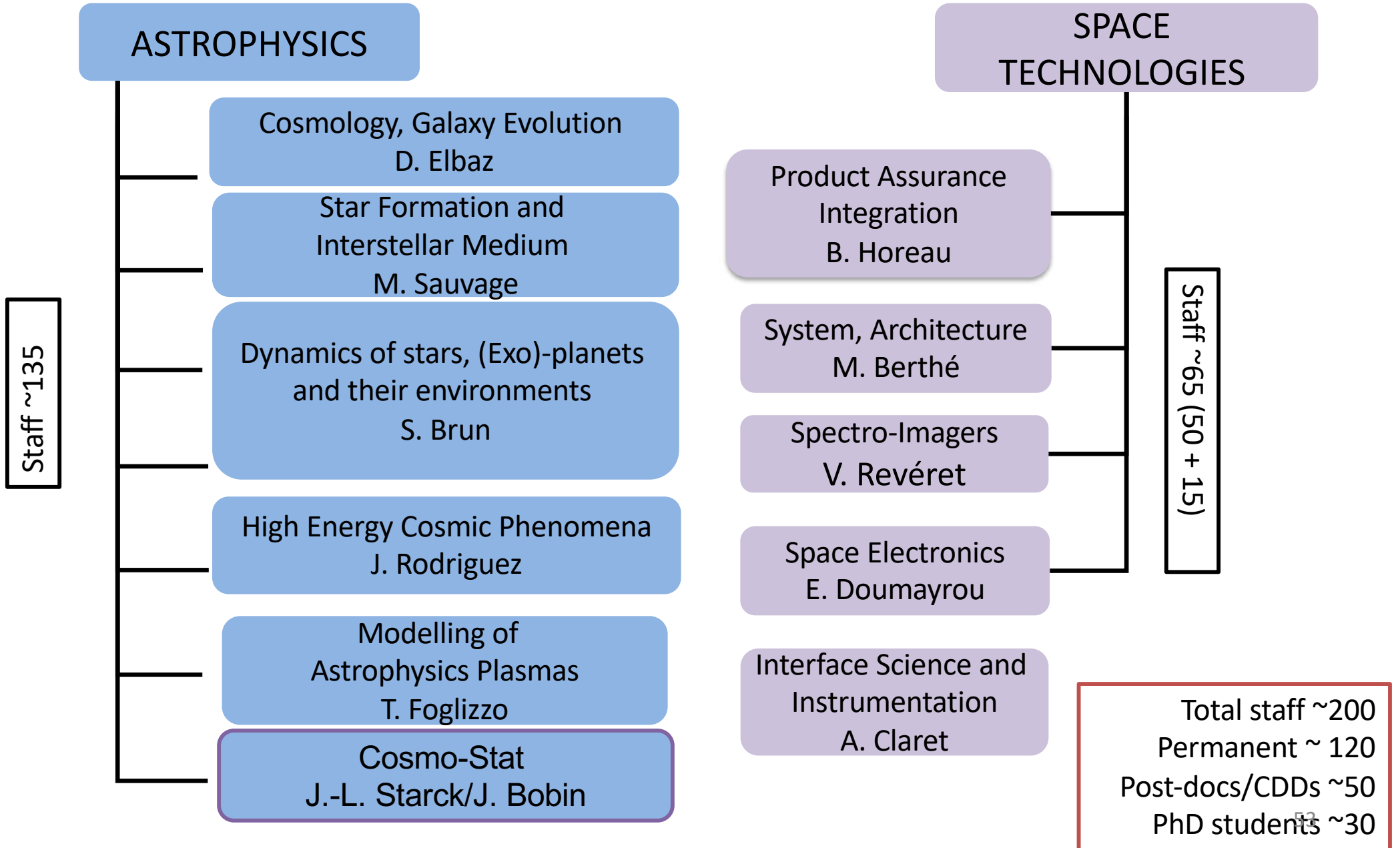
DAP missions:

- **Conduct astrophysics research** to answer major questions of the discipline on a broad spectrum of fields, ranging from **solar physics to cosmology**;
- Ensure, in liaison with space agencies and ground-based observatories, the **prime contracting of instruments or subsystems needed for astrophysics research** and to contribute to the **development of data analysis centres**;
- Contribute to **research-based training** and **form the new generation of astrophysicists and instrumentalists** ;
- **Communicate our results and achievements**: from the scientific community to our governing bodies and the general public

Scientific domains:

- **R&D detectors**, Vincent Revéret
- **Dynamics of stars, (Exo)-planets and their environments**, S. Brun
- **Star formation and interstellar medium**, M. Sauvage
- **Galaxy evolution and cosmology**, D. Elbaz
- **Statistics and cosmology**, J.L. Starck
- **High-energy phenomena**, J. Rodriguez
- **Modelling of astrophysics plasmas**, T. Foglizzo

DAP workforce



DAP collaborations

Paris – Saclay university : member of the department Planet and Universe

=> **OSU Observatoire des Sciences de l'Univers Paris Sud**

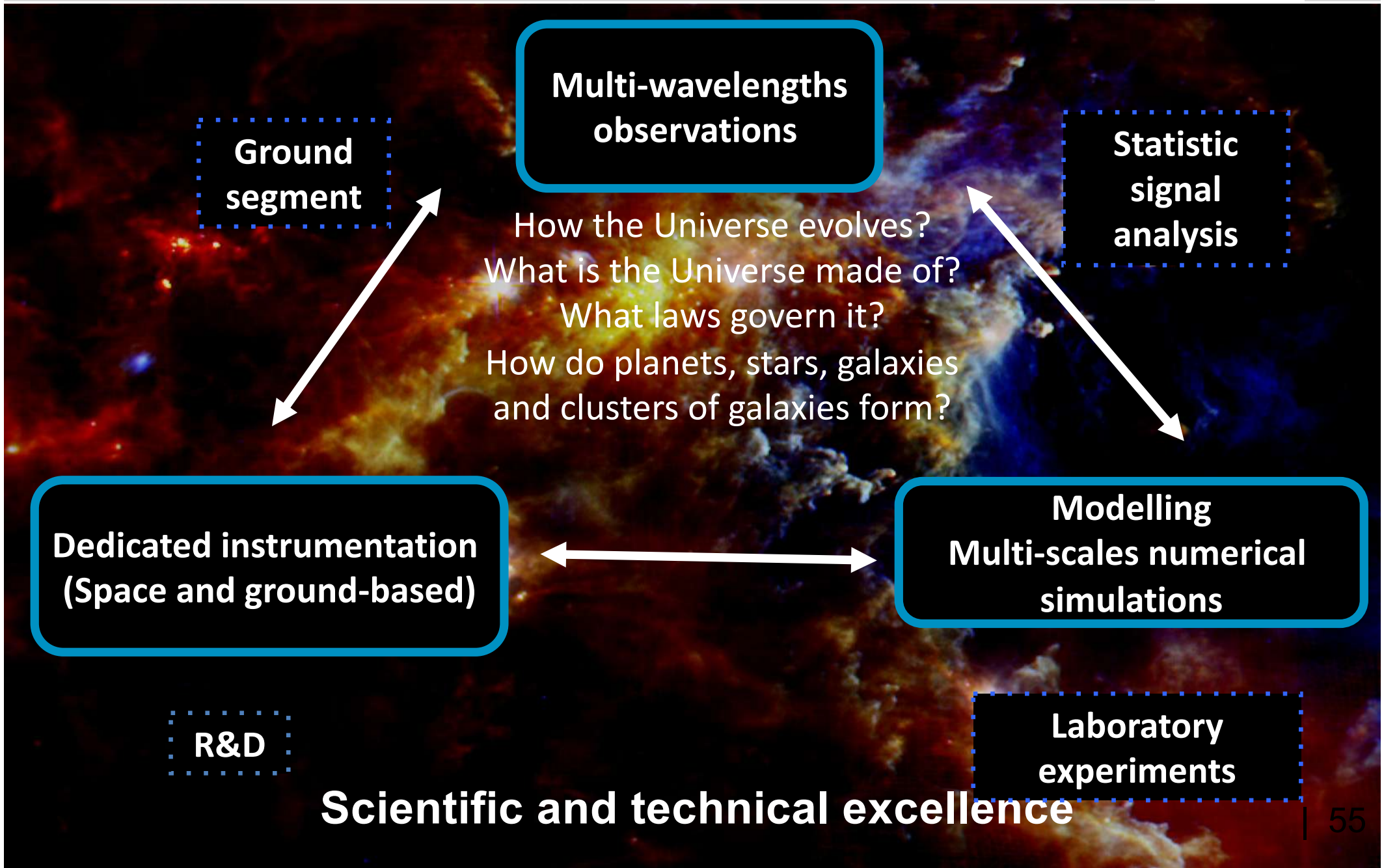
National :

- Long-term partnership with CNES on project developments (framework agreement with a share of the full cost of instrumental and ground segments developments)
- Partnership with industrial partners (3DPLUS on CdTe detectors, SOFRADIR,..)
- Laboratories, notably in the framework of Labex UnivEarthS (Paris Diderot), FOCUS (Grenoble) and P2IO (Paris Saclay)
- Members of national programs of CNRS/INSU

International :

- Laboratories, institutes
- ESA, ESO, CNSA, NASA, JAXA, DLR,...

DAP strategy



DAP collaborations

Paris – Saclay university : member of the department Planet and Universe

=> **OSU Observatoire des Sciences de l'Univers Paris Sud**

National :

- Long-term partnership with CNES on project developments (framework agreement with a share of the full cost of instrumental and ground segments developments)
- Partnership with industrial partners (3DPLUS on CdTe detectors, SOFRADIR,..)
- Laboratories, notably in the framework of Labex UnivEarthS (Paris Diderot), FOCUS (Grenoble) and P2IO (Paris Saclay)
- Members of national programs of CNRS/INSU

International :

- Laboratories, institutes
- ESA, ESO, CNSA, NASA, JAXA, DLR,...

4 missions at CEA : defence/security, energy, technical research for industry, **fundamental research for material and life sciences**

- From research to industry: scientific and technological excellence -

Key competences at CEA:

Strong technological culture

- Electronics and detectors resistant to ionizing radiations
- High-energy detectors (X, gamma), IR and submm detectors
- Very low temperature cryogenics

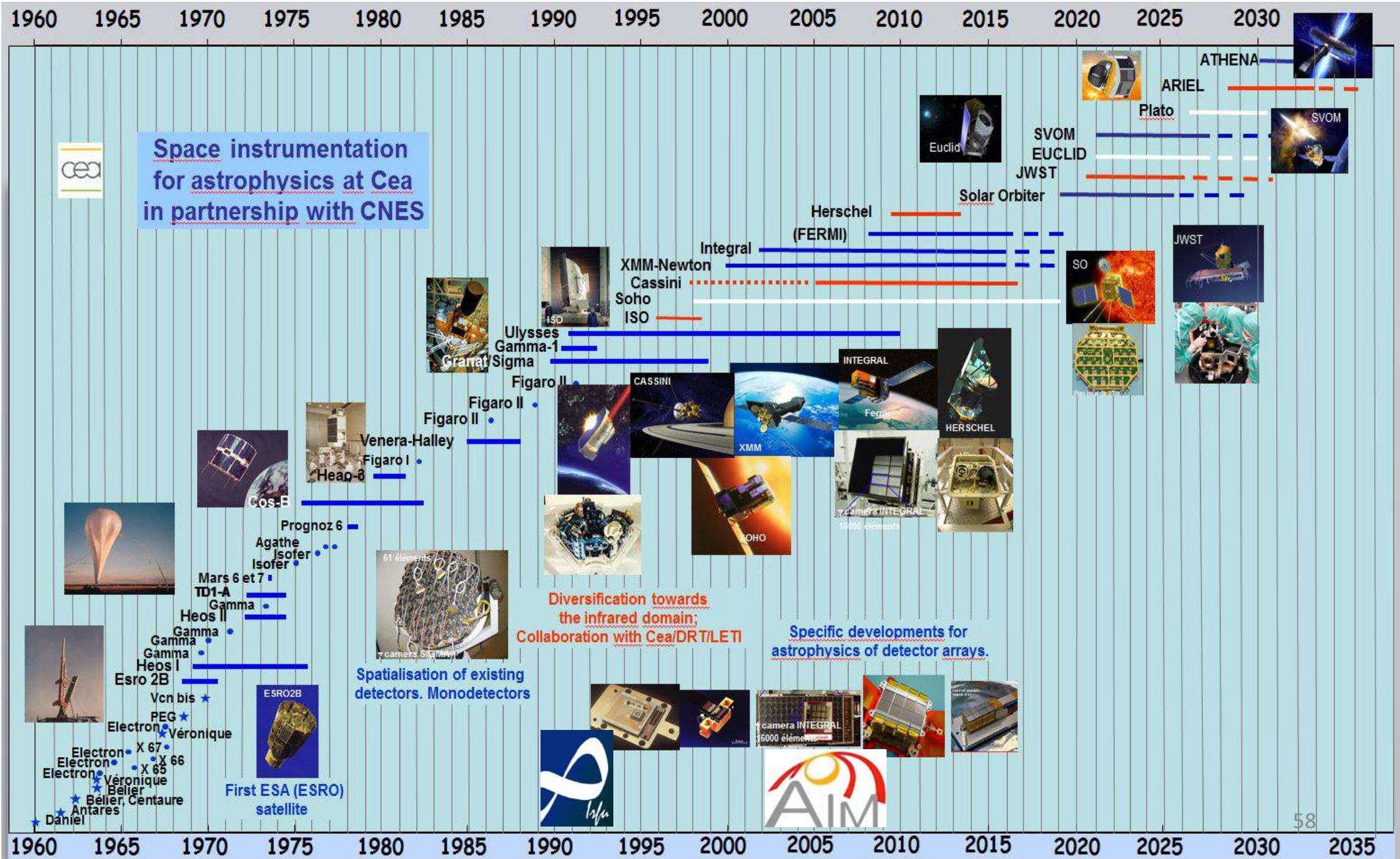
Project-based approach: organization, quality, project management and development of subsystems and instruments, lead of international scientific programs (ECSS ESA standard)

Theory and numerical simulations: hydrodynamics, turbulence, radiative transfer, High Performance Computing (HPC)

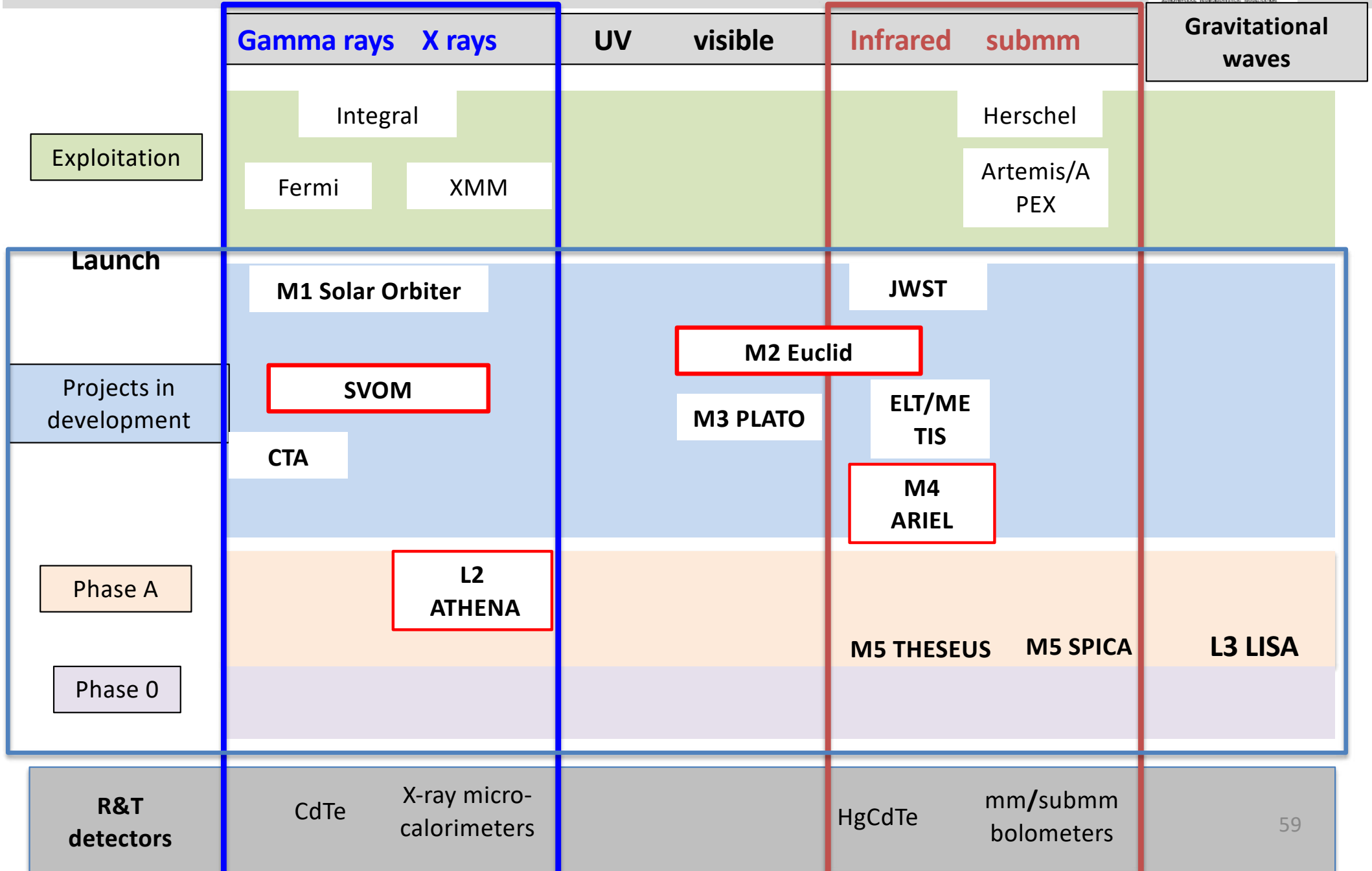
“Big data”: data production from large infrastructures and instruments (satellites, CERN/LHC,..)

=> Space astrophysics since more than 50 years, innovative signal analysis, numerical simulations, high level technological developments and scientific research

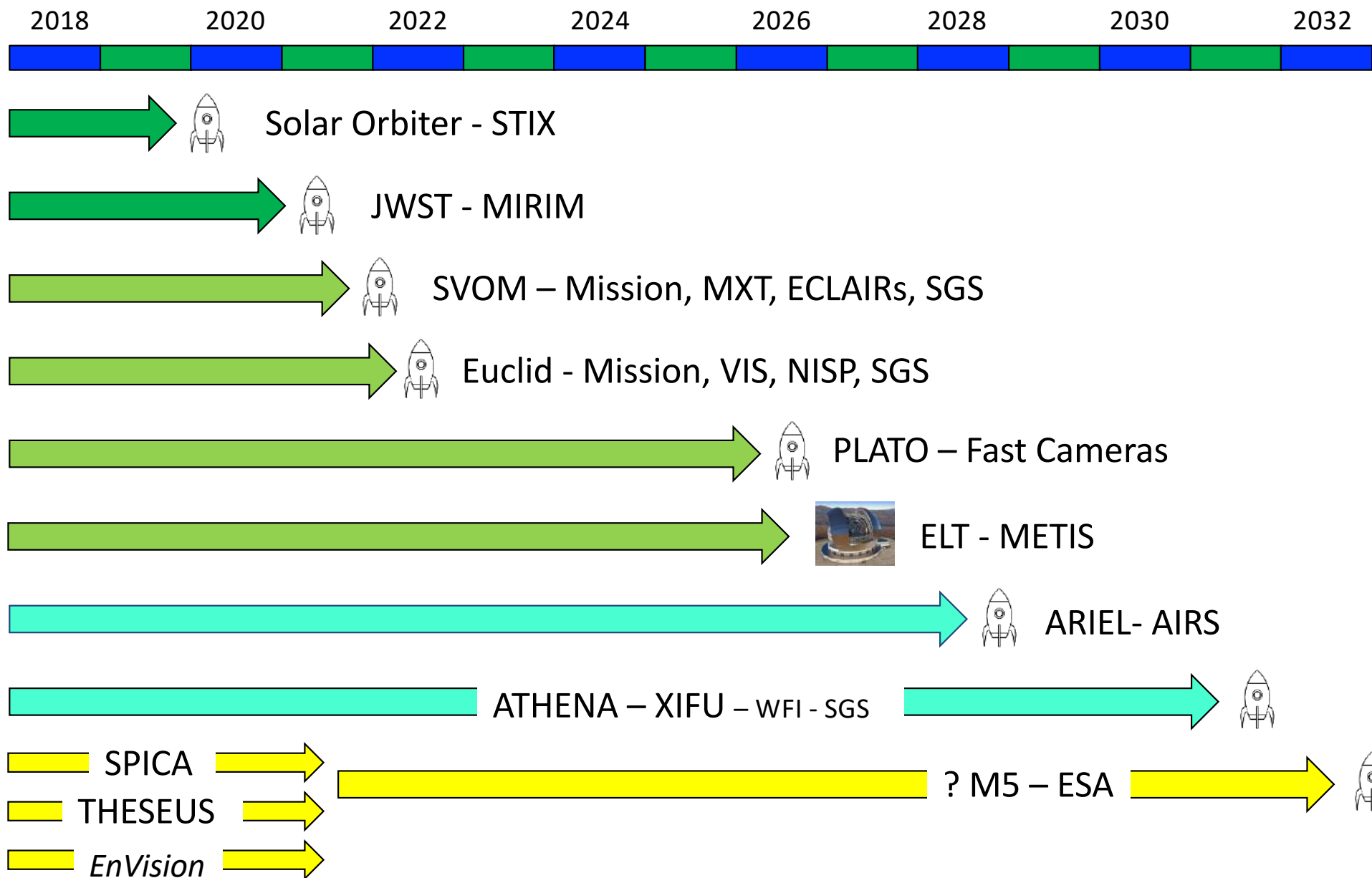
Space astrophysics at CEA with CNES since >50 years



Strategy: developing technological & scientific excellence



DAp instrumental involvement in future missions



Space Platforms

- **Cleanrooms**

- 100 m² of ISO Class 8 (100k) area including 20 m² of ISO class 5 (100)
 - I&T detectors and focal plane assembly (dimensioned for 2 projects)
- 150 m² of ISO Class 7 (10k) area including 20 m² for the chemical room
 - I&T electronics, metrologies, components/equipment storage
 - Cleaning and gluing area
- 10 m² of ISO Class 5 (100) area
 - I&T camera inside specific cryostat/platform

- **Test rooms**

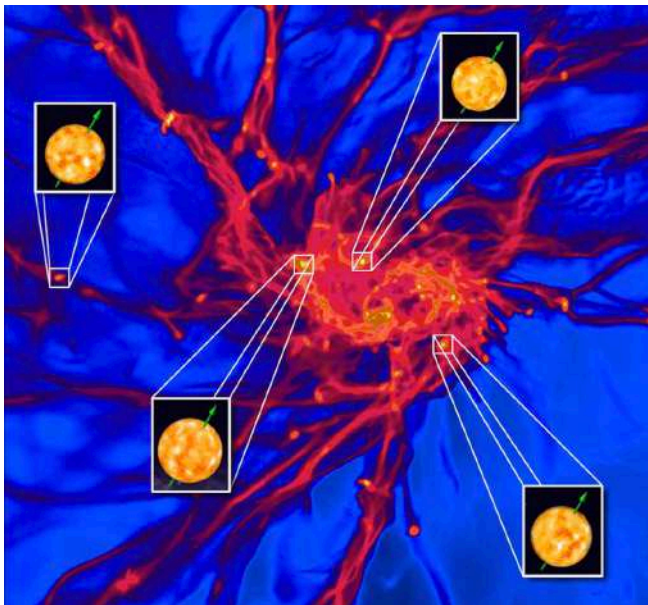
Dedicated for sub-system characterization and focal plane calibration
(optical source, calibration source)

- **Test platforms**

- Classification in terms of operability or safety and the required of level of documentation
- Platforms classification
 - A (#10): shared to several projects (thermal chamber, etc.) [in GIS PARADISE]
 - B (#04): designed for specific project (Euclid-VIS/FPA or SVOM-MXT/MCAM)
 - C (#09): designed for the lab needs (sub-mm characterization, etc.)
 - D (#01): platform currently in stand-by

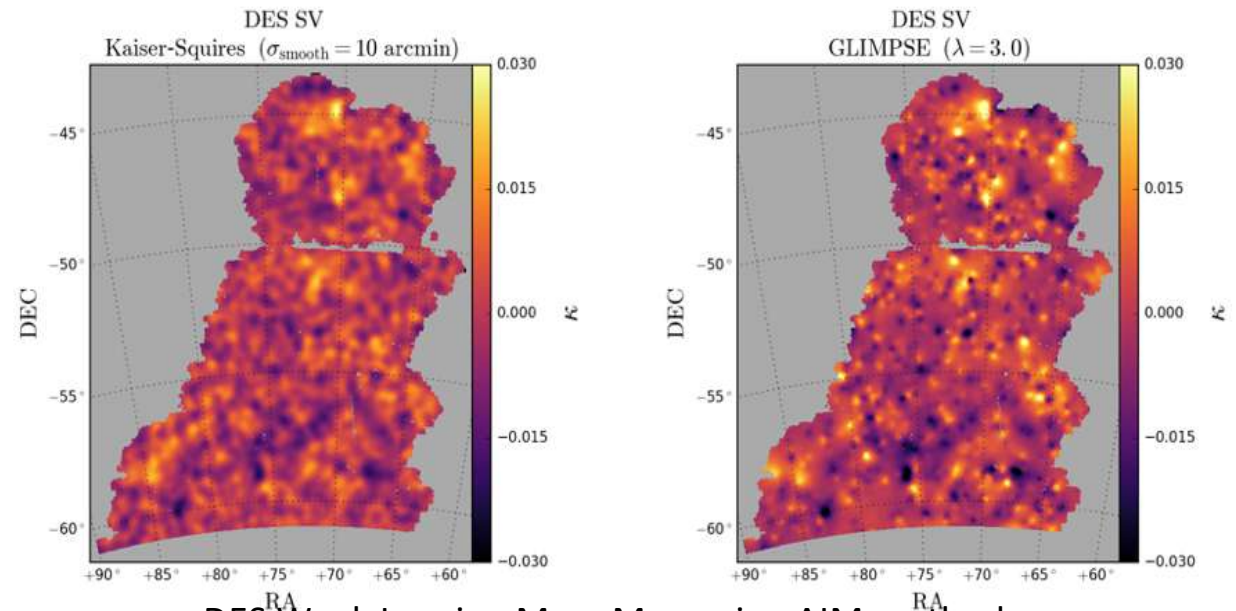
Data processing & numerical simulations

- Data processing and algorithm developments
- Numerical simulations

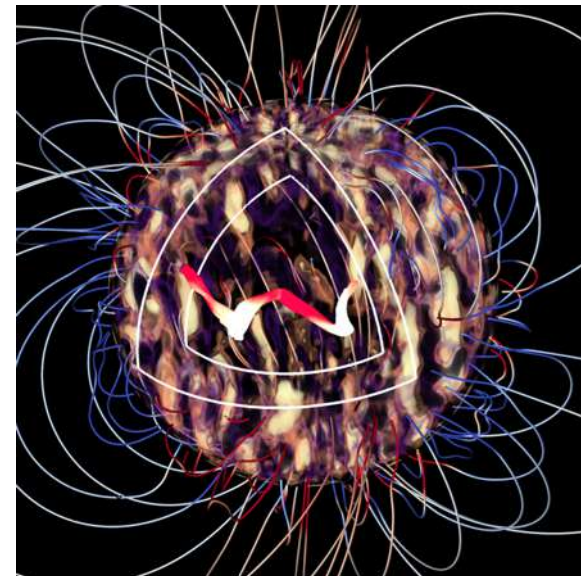


Alignment of the axis of rotation of stars when rotation contributes most to the energy budget of the star proto-cluster

Theme 2 (Kepler data analysis)/ Theme 7 (Simulations)

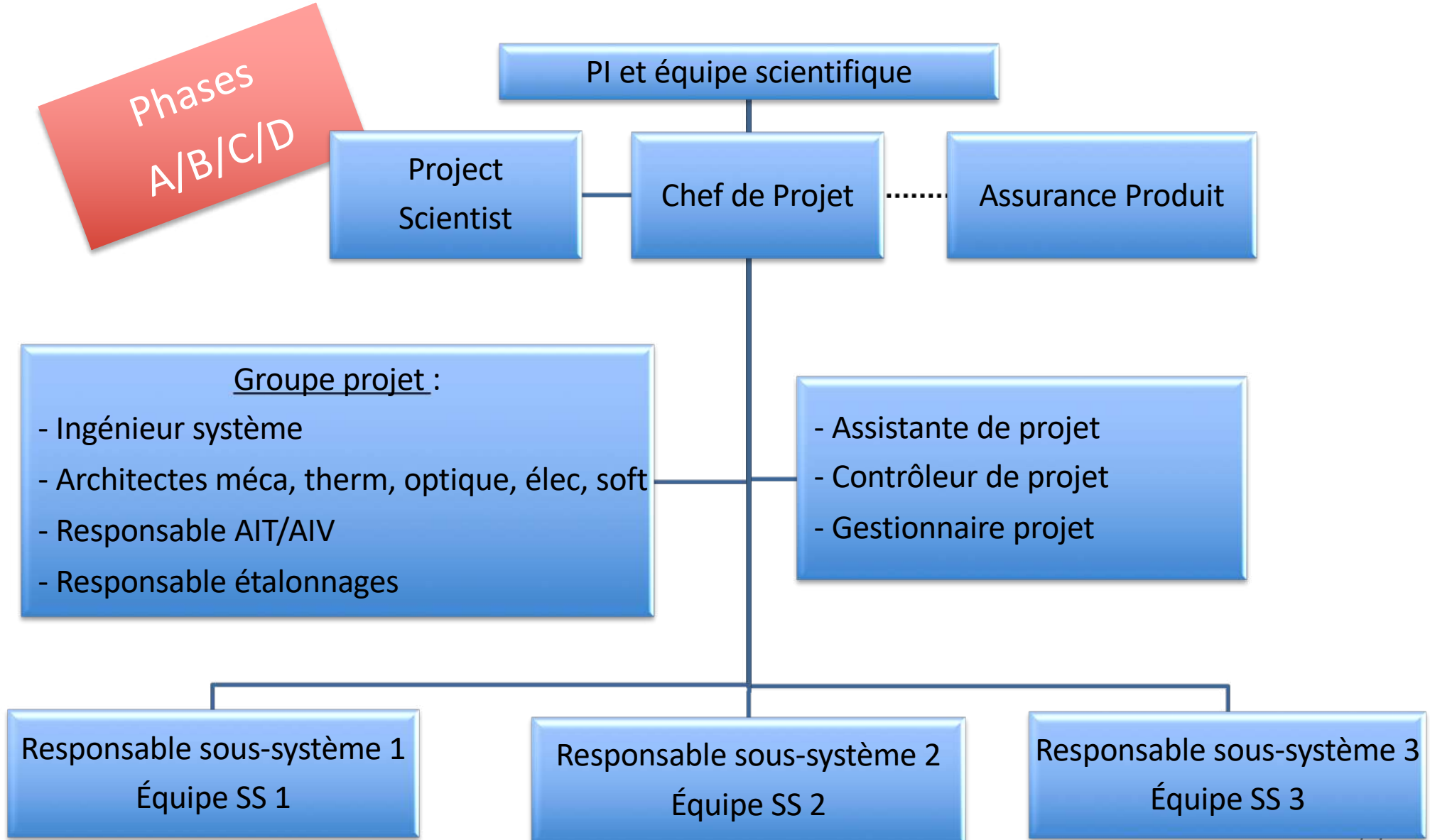


DES Weak Lensing Mass Map using AIM methods



3D non-linear dynamo simulation with a regular magnetic cycle

Organigramme fonctionnel d'un projet spatial

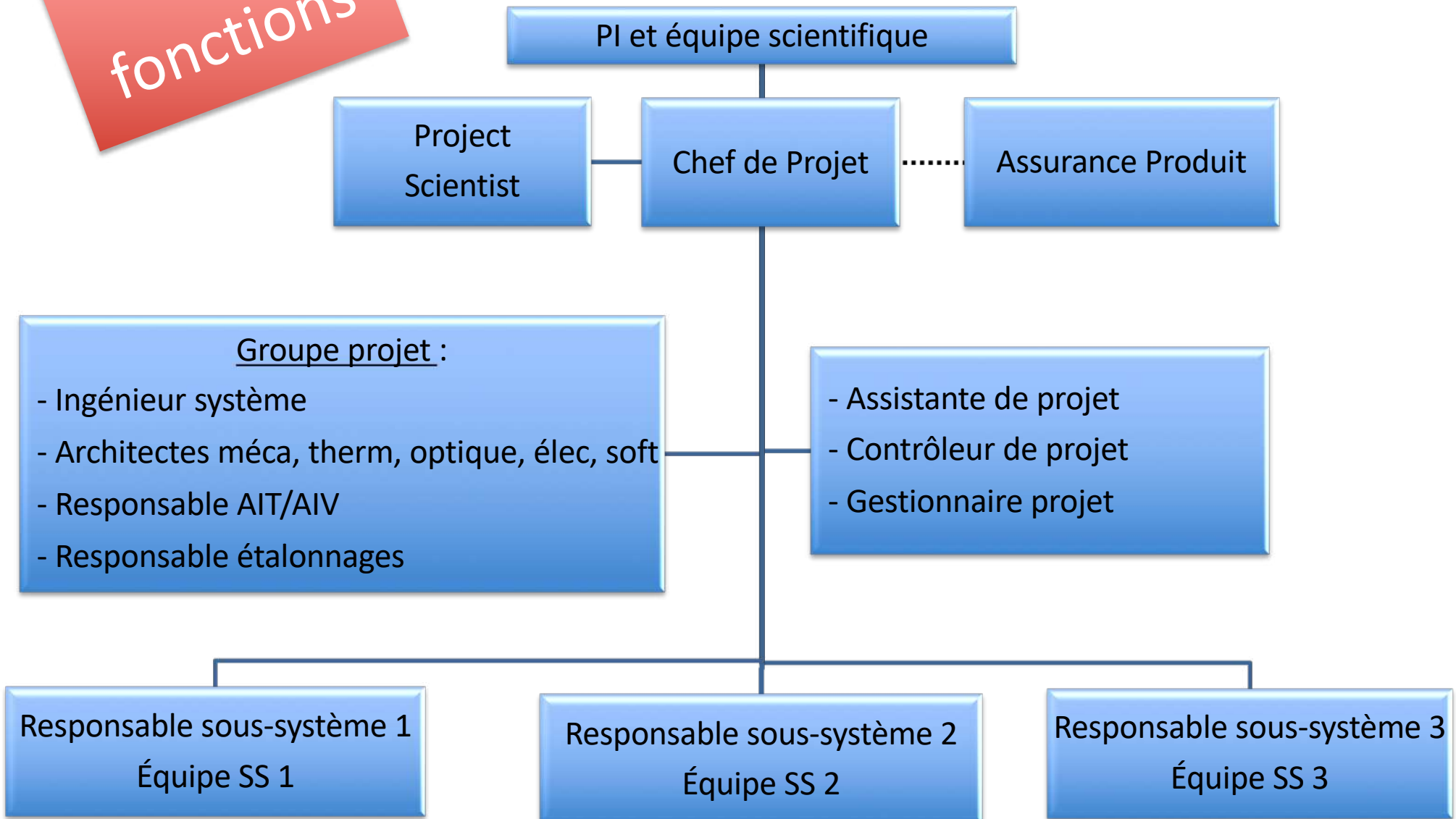


L'équipe projet

- Travail d'équipe :
 - Groupe avec un nombre limité de membres
 - Orienté vers un objectif particulier = raison d'être de l'équipe
 - Motivation de tous les membres pour cet objectif
 - Répartition des rôles, fonctions, responsabilités, compétences
 - Coordination des actions individuelles => CdP
- Le Chef de Projet :
 - Chef d'orchestre & décideur (=> arbitrages)
 - Définition des rôles et domaines de compétences de chaque acteur
 - Facilitateur de débat et transmission d'informations
 - Gérer les conflits

Organigramme fonctionnel d'un projet

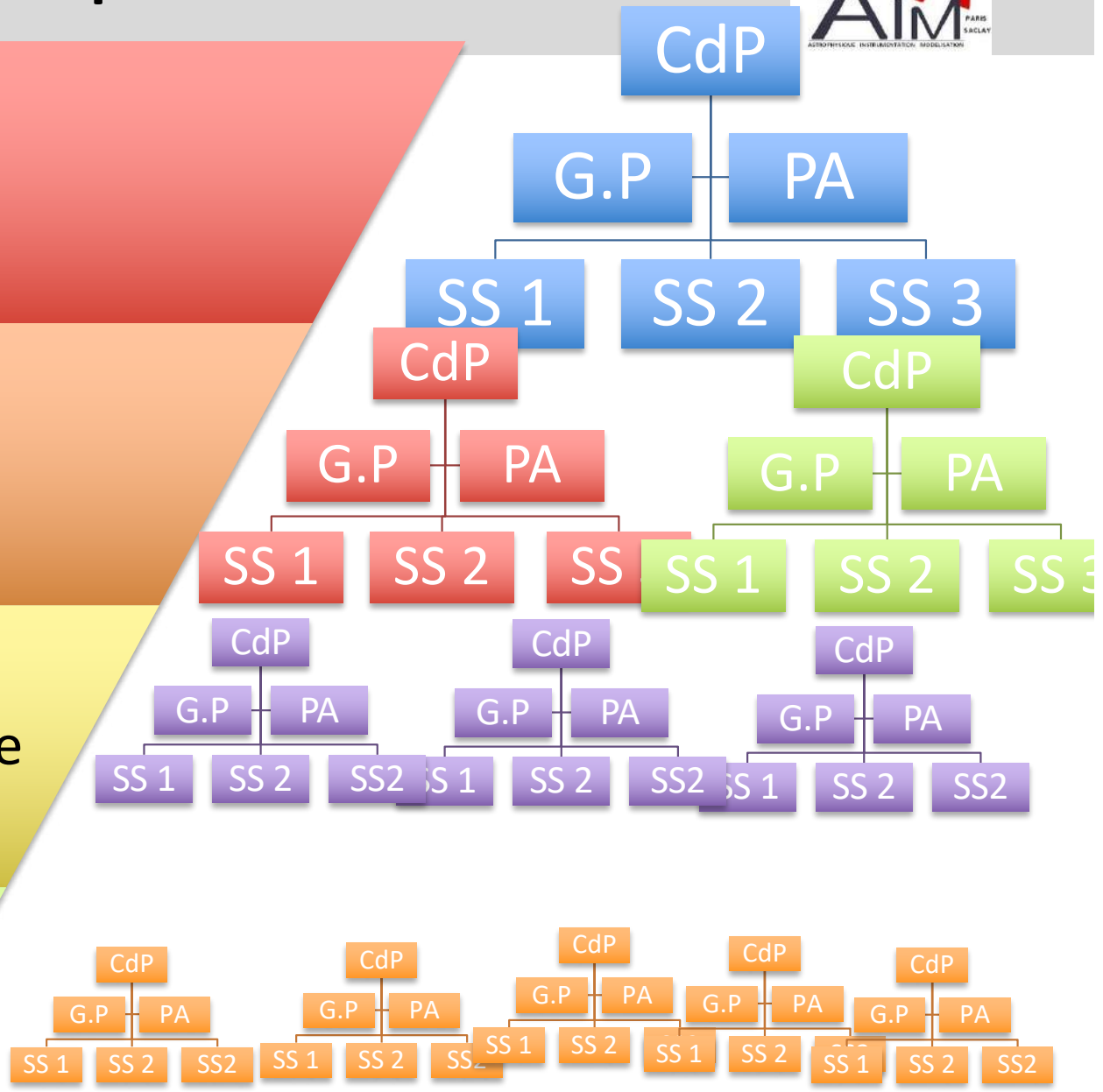
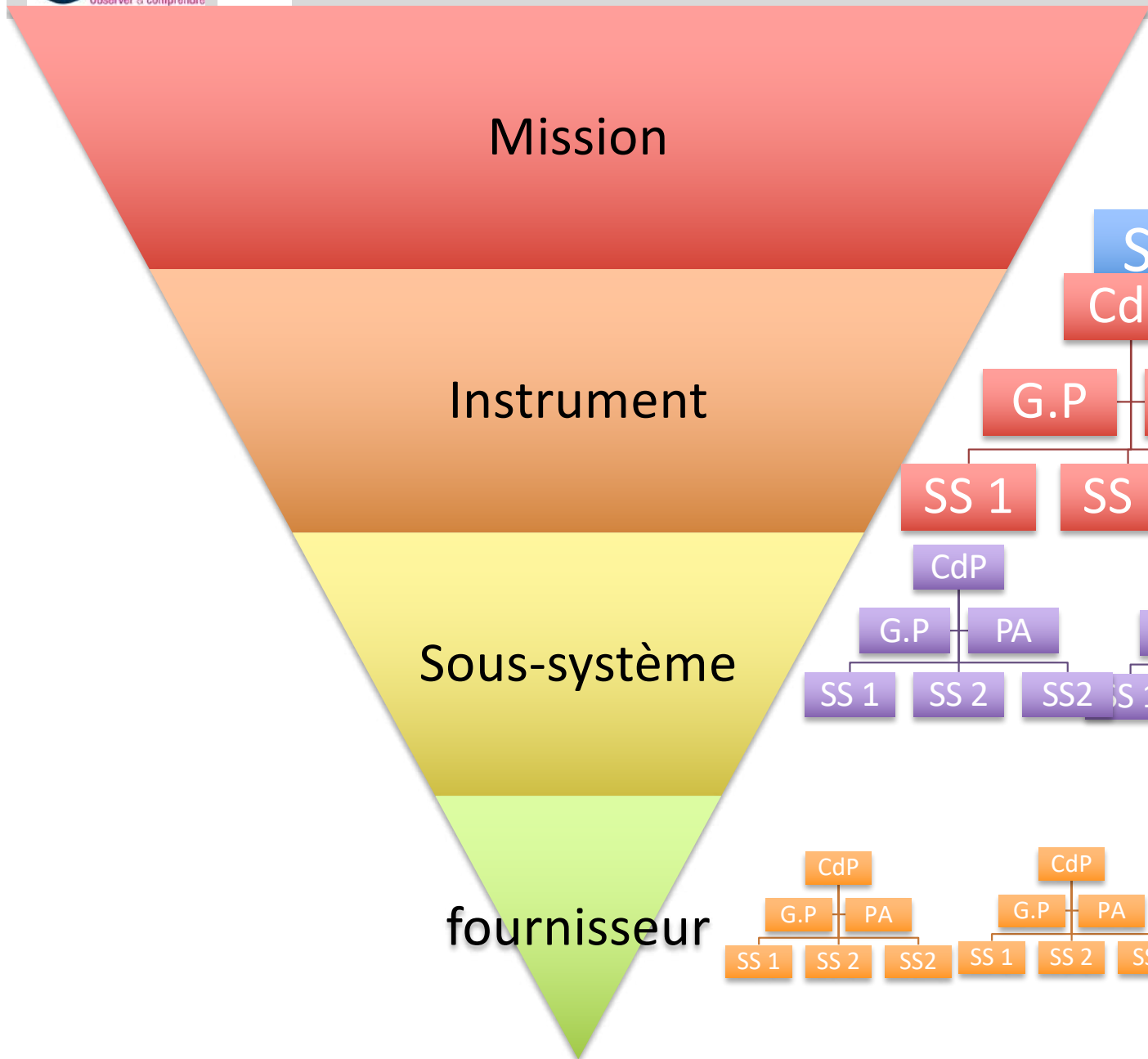
18
fonctions



Fonctions et personnes

- À chaque fonction de l'organigramme ne correspond pas obligatoirement une personne différente :
 - Regroupement de plusieurs fonctions pour une personne (petits projets)
 - Éviter les morcellements du plan de charge personnel (=> démotivation), idéal : 1 personne sur max. 2 projets
 - Faire évoluer la fonction au cours la vie du projet (Ingé. Syst. devient AIT manager) => motivation +++
 - Formation => évolution et élargissement des domaines de compétences

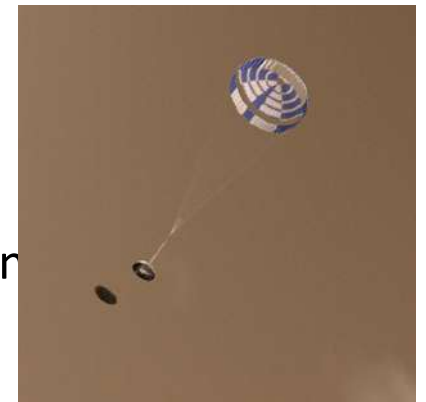
Les poupées russes



Contraintes spécifiques aux programmes spatiaux

– Fonctionnement dans des environnements spécifiques:

- Lancement:
 - vibrations, décompression
- Environnement spatial:
 - vide (dégazage) et températures extrêmes
 - radiations et flux solaire (rayonnement et particules)
- Missions planétaires in-situ:
 - Phase de descente et atterrissage
 - atmosphère spécifique de la planète
 - cycles thermiques jours/nuits parfois très étendus
 - poussières et vents
 - Protection Planétaire : décontamination / stérilisation
- Mission parfois de très longue durée:
 - Voyager lancée en 1977, toujours en activité (partiellement)
 - Rosetta, lancée en 2004 pour des opérations prévues à partir de 2014



Contraintes spécifiques aux programmes spatiaux

- Respect impératif du calendrier (fenêtre de lancement courte, parfois unique, mais planifiée 10 ans auparavant).
- Ressources limitées disponibles à bord de la plateforme:
 - Masse, puissance, énergie, volume de stockage, télémesures et télécommandes
- Pointage précis parfois nécessaire (stabilité, précision)
- Cohabitation avec les autres instruments (exigences différentes, partage des ressources limitées, interférences)

PA/QA, pourquoi faire?

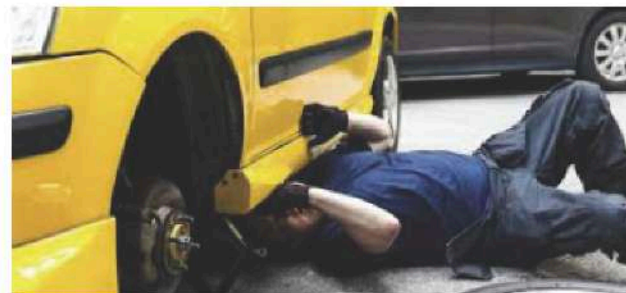
Euclid « space segment » : satellite & instruments

- 100% « on » pendant 6.25 ans // 55.000 heures
- Sans maintenance



Comparer à un objet bien connu

- 150.000 km
- 50 km.h⁻¹
- 3000 heures
- avec maintenance



**Haute exigence de fiabilité
pour le « space segment »**

PA/QA, à quoi ça sert?

Une autre comparaison...

- Renault fabrique plus de 450.000 « Clio » par an
- Pendant cette même année, l'ESA lance un satellite scientifique
- Nos ingénieurs travaillent 5 à 10 ans sur une mission

Boucle de retour d'expérience très longue

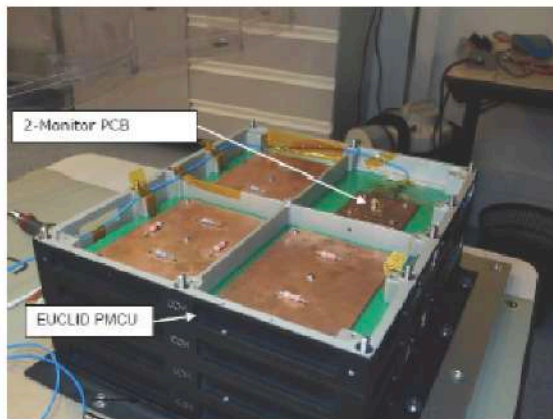
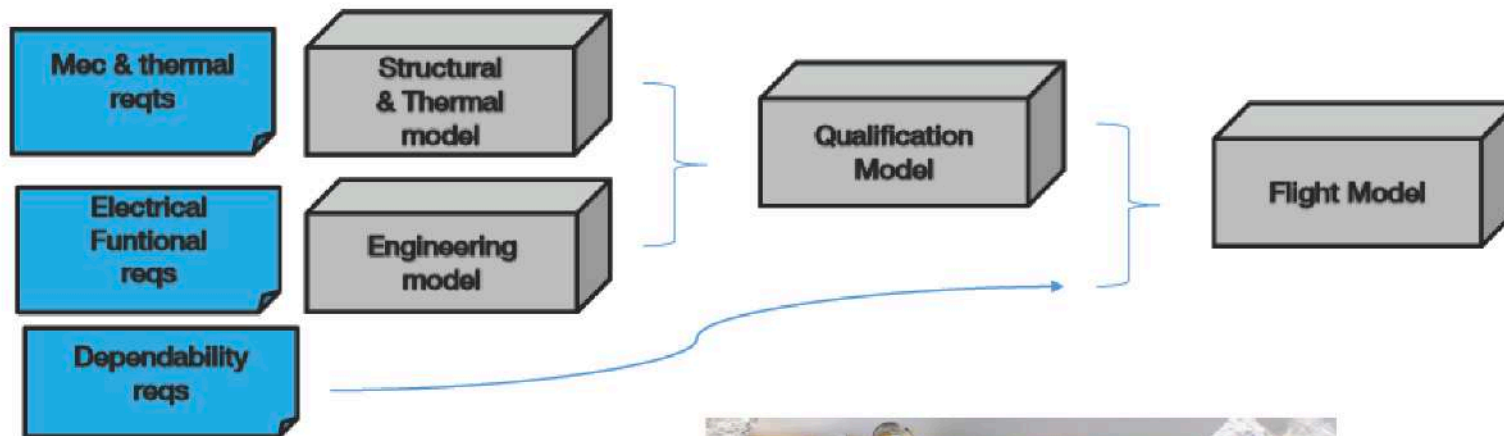
- Le retour « statistique » manque de résolution (tout ou rien)
- Innovation difficile -> méthodes et règles très « conservatrices »
- Référentiel normatif ESA ECSS (recueil de norme et de bonnes pratiques)

Gold rule (Schmitt axiom)

- **Part I : What is not identified as a requirement is not verified**
- **Part II : what is not verified, don't expect it to work properly**
- **Part III : the early you verify, the lower consequences you have**

Vérification anticipée

► Une vérification anticipée nécessite des modèles anticipés



STM



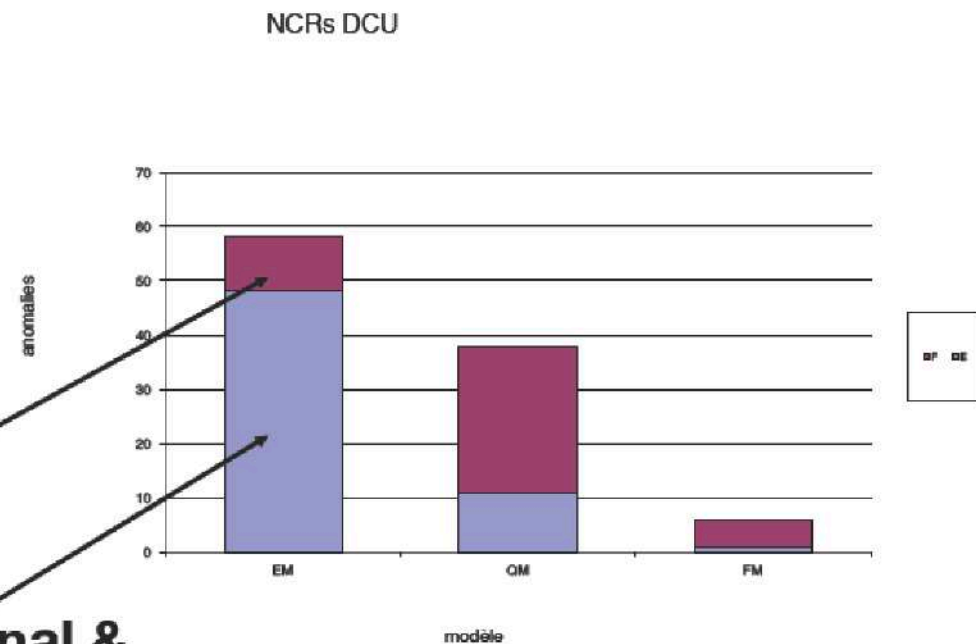
QM

QA & traçabilité

- ▶ La philo des modèles nécessite un système fort de traçabilité pour converger vers un modèle de vol conforme
- ▶ Capitaliser l'information
- ▶ Non-Compliance tracking system
Système de suivi des anomalies
- ▶ Exemple : boîtier DCU (mission Herschel)

**Manufacturing
issue**

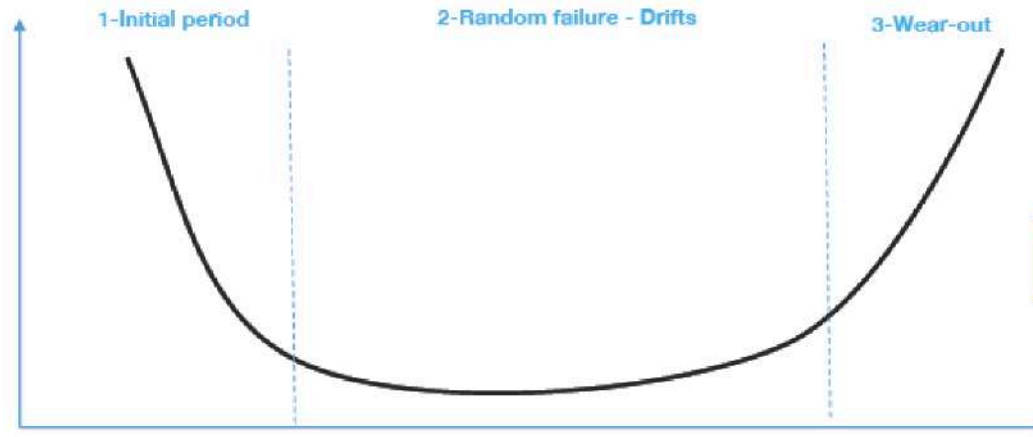
**Functional &
performance issue**



PA/QA team keeps traceability for

- **Non-conformances & related actions**
- **Changes (on requirements, on assembly, test procedures)**
- **Decisions (reviews to authorize manufacturing, start of test ...)**

PA : fiabilité tout au long de la mission



Part Stress / Parameter deratings
Life time testing

Procurement

- **Hi-Rel EEE**
- **Material & processes**

Verification testing

Failure Mode Effect Analysis
Worst Case Analysis
Reliability analysis



laboratoires
scientifiques



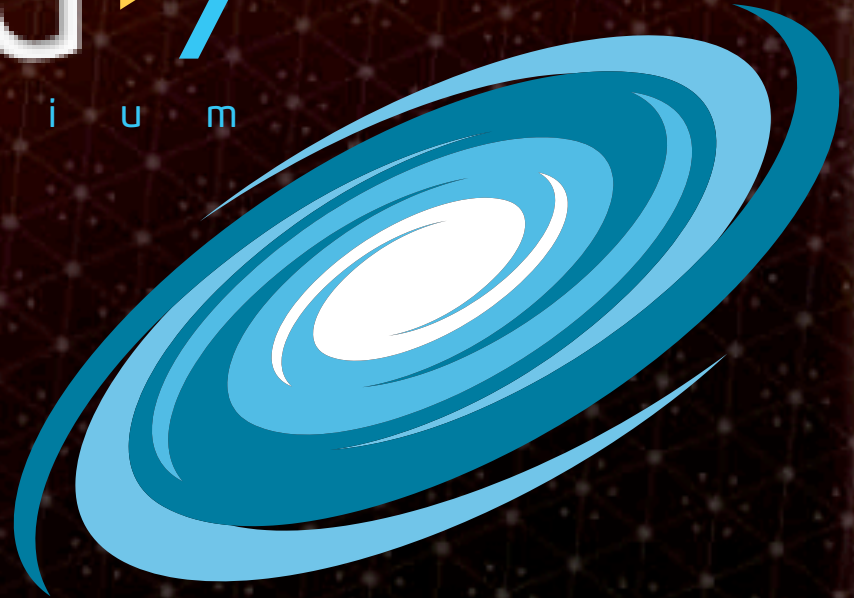
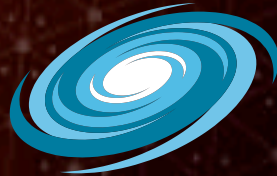
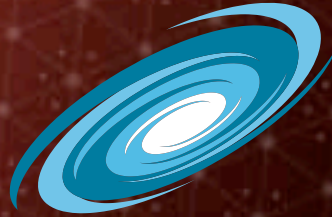
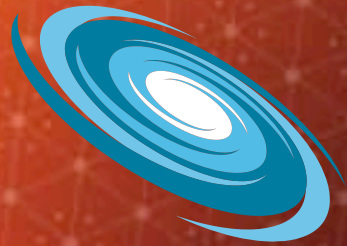
Agences
Spatiales



Industries



france for
euclid 7
s y m p o s i u m



Merci !