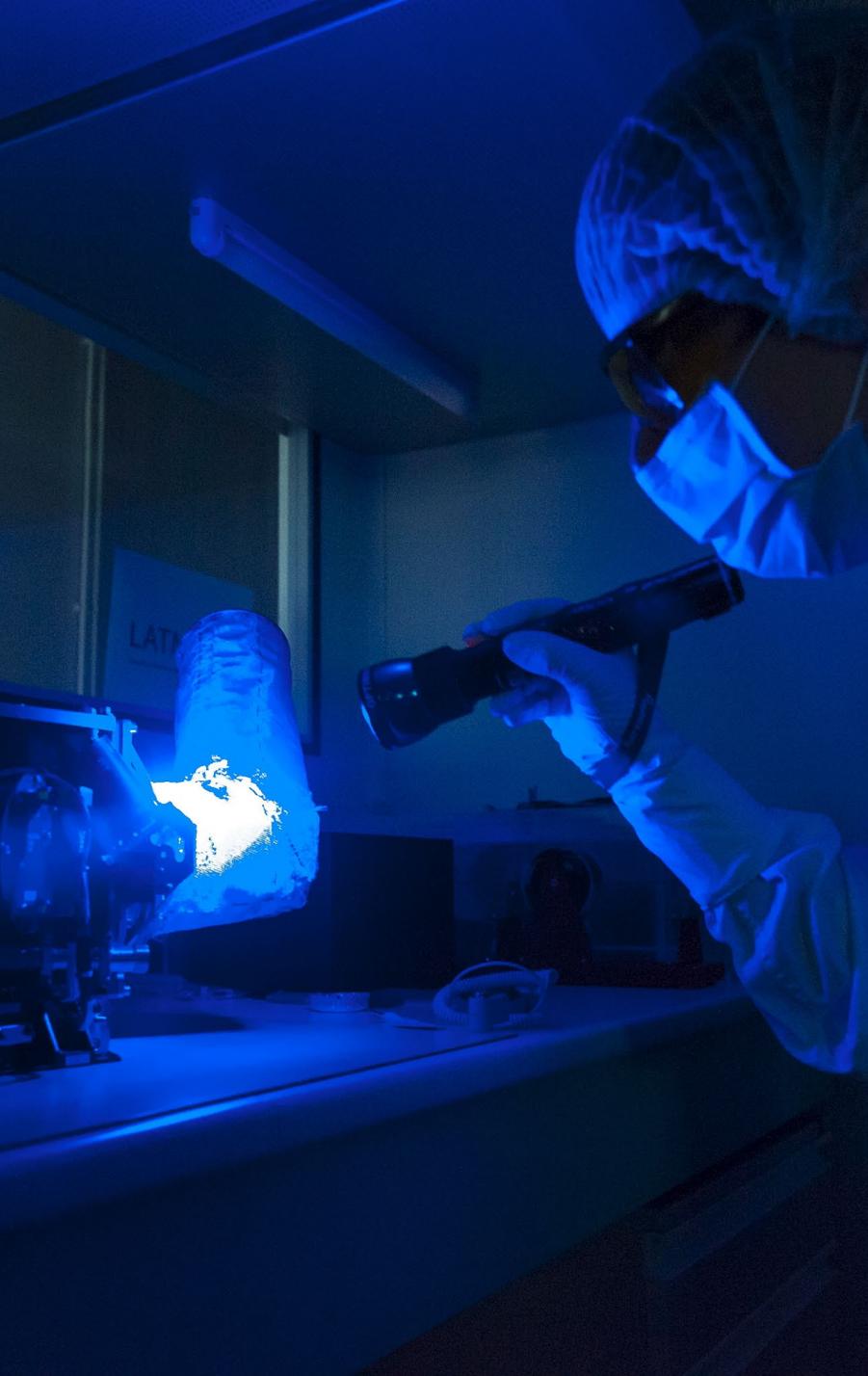


# *Spécificités du contexte normatif pour maîtriser les risques de contamination des engins spatiaux*

Delphine Faye  
[delphine.faye@cnes.fr](mailto:delphine.faye@cnes.fr)





# SOMMAIRE

- Les contaminants et leurs effets dans le domaine du spatial
- 
- 
- 

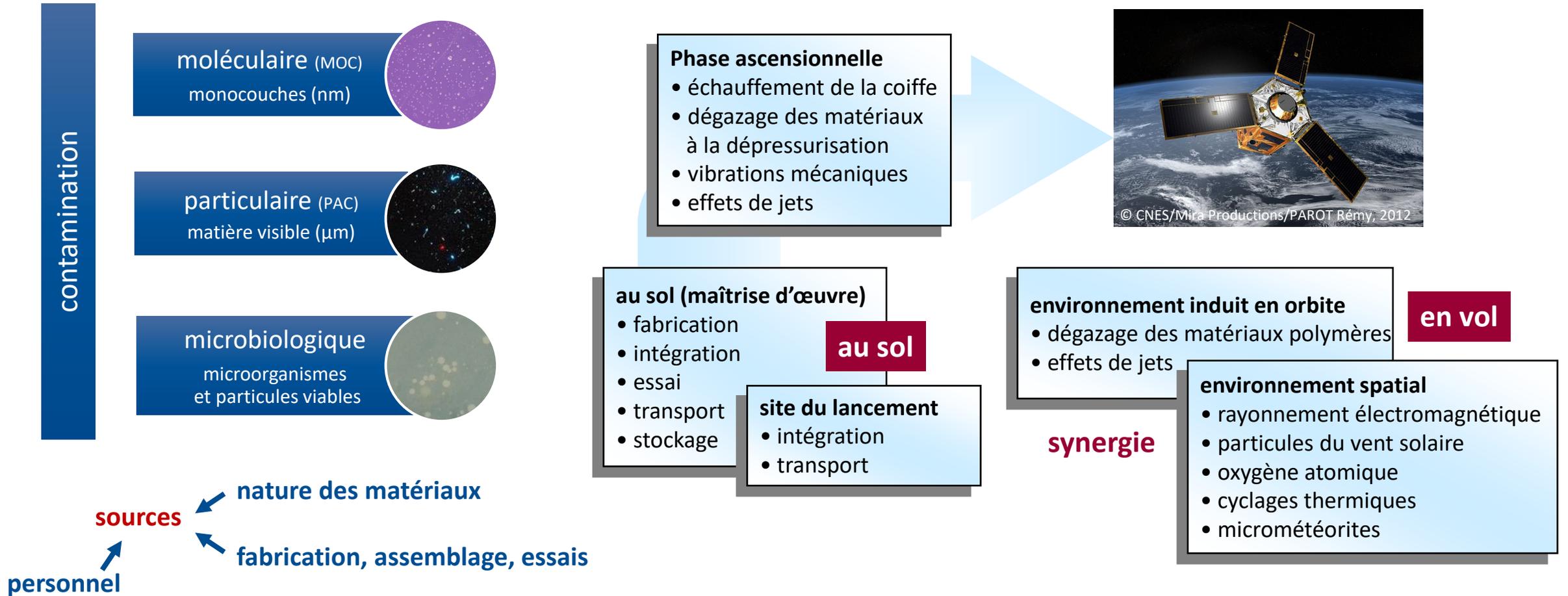
- Un contexte normatif spécifique pour minimiser les risques
- 
- 

- TARANIS : un satellite sous surveillance
- 
- 

- Conclusion
-

## contaminant (selon l'ECSS-Q-ST-70-01)

toute matière étrangère ayant un temps de résidence suffisamment long sur une surface ou dans un environnement fonctionnel pour en dégrader les performances ou la durée de vie



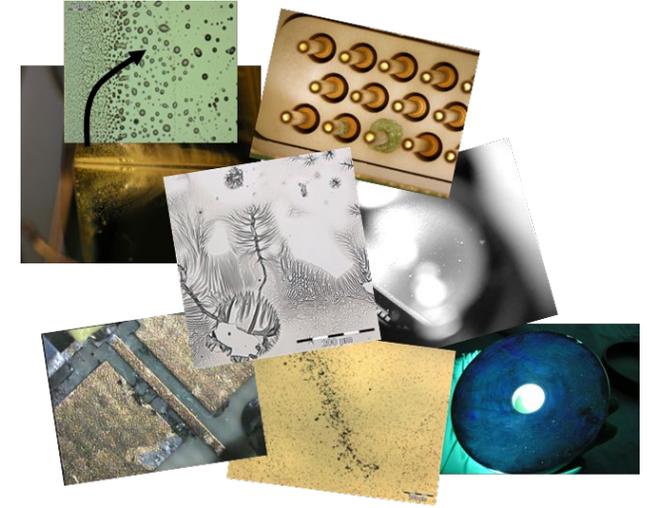
problèmes de stabilité intrinsèque des matériaux (dégazage, perte de lubrifiants...)

perturbations directes des mesures lumière parasite

élévation de pression interne problèmes électriques - effet CORONA

occultation des surfaces par les particules diffusion, défaillance de mécanismes, rayonnement thermique...

condensation / réémission d'espèces chimiques modification des propriétés de surface



## ➤ perte de performances d'éléments optiques et détecteurs

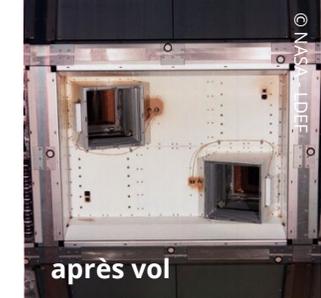
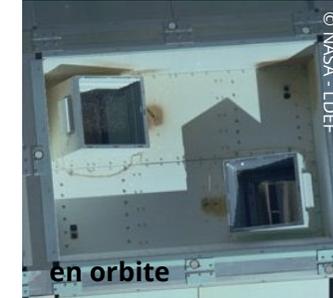
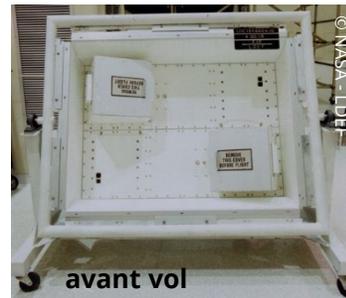
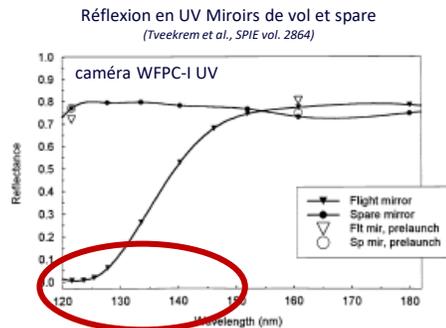
modifications des caractéristiques optiques

- transmission des lentilles / réflexion des miroirs
- augmentation de la diffusion

## ➤ dégradation des surfaces de contrôle thermique

modification des caractéristiques thermo-optiques

$\alpha_s$  absorptivité solaire /  $\varepsilon$  émissivité infrarouge



$\square \alpha_s \Leftrightarrow \square \text{efficacité} \Leftrightarrow \square \text{réchauffement}$

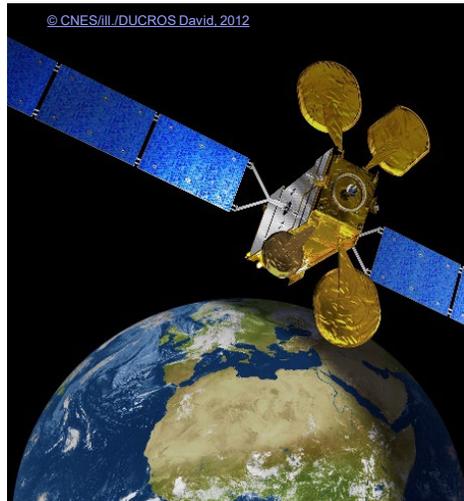


analyse de la sensibilité des équipements spatiaux  
prise en compte des paramètres mission

déclinaison différente des exigences de propreté pour les  
phases de développement et d'opérations

MOC en  $\text{g}/\text{cm}^2$   
PAC en ppm

## Exemples de spécifications moléculaires pour différents types de satellite



satellite THD Sat  
télécommunications

$10^{-6} \text{ g}/\text{cm}^2$



satellite PLEIADES  
Observation de la Terre

$5 \cdot 10^{-7} \text{ g}/\text{cm}^2$



sonde Solar Orbiter  
Observation du Soleil

$2 \cdot 10^{-8} \text{ g}/\text{cm}^2$



possibilité d'exclure des types de contaminants  
(ex : silicones, aromatiques...)

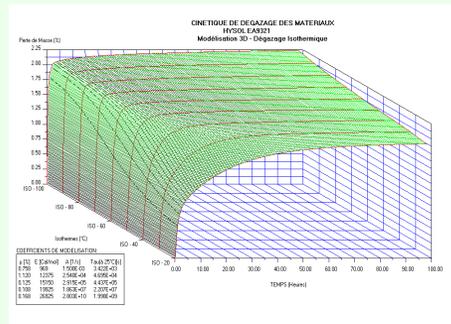
en amont ...

identification des surfaces fonctionnelles critiques

identification des sources de contaminants

conception (événements, réchauffeurs...)

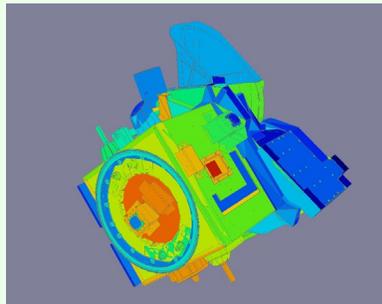
simulation des cinétiques de dégazage



sélection des matériaux

quantification des niveaux de contamination

modélisation



... en intégration

activités en salle propre

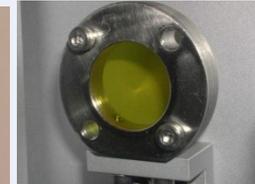
protections

flushage



contrôle de la contamination passif ou actif

pré-dégazage



nettoyage adapté

inspection régulière

réponse aux exigences à l'aide d'un plan de propreté

du niveau instrument jusqu'au satellite  
différentes phases de développement et d'opération

## cadre normatif

fortement recommandé  
guide très utile de bonnes pratiques



et



sophistication des instruments  
durée de mission  
fiabilité  
contraintes économiques  
nouveaux entrants  
nouvelles coopérations internationales

capitaliser le savoir-faire technologique  
contribuer à la compétitivité et les innovations  
mutualiser et harmoniser les règles d'échanges  
favoriser l'interopérabilité des systèmes  
élaborer les règles pour assurer la durabilité de l'espace

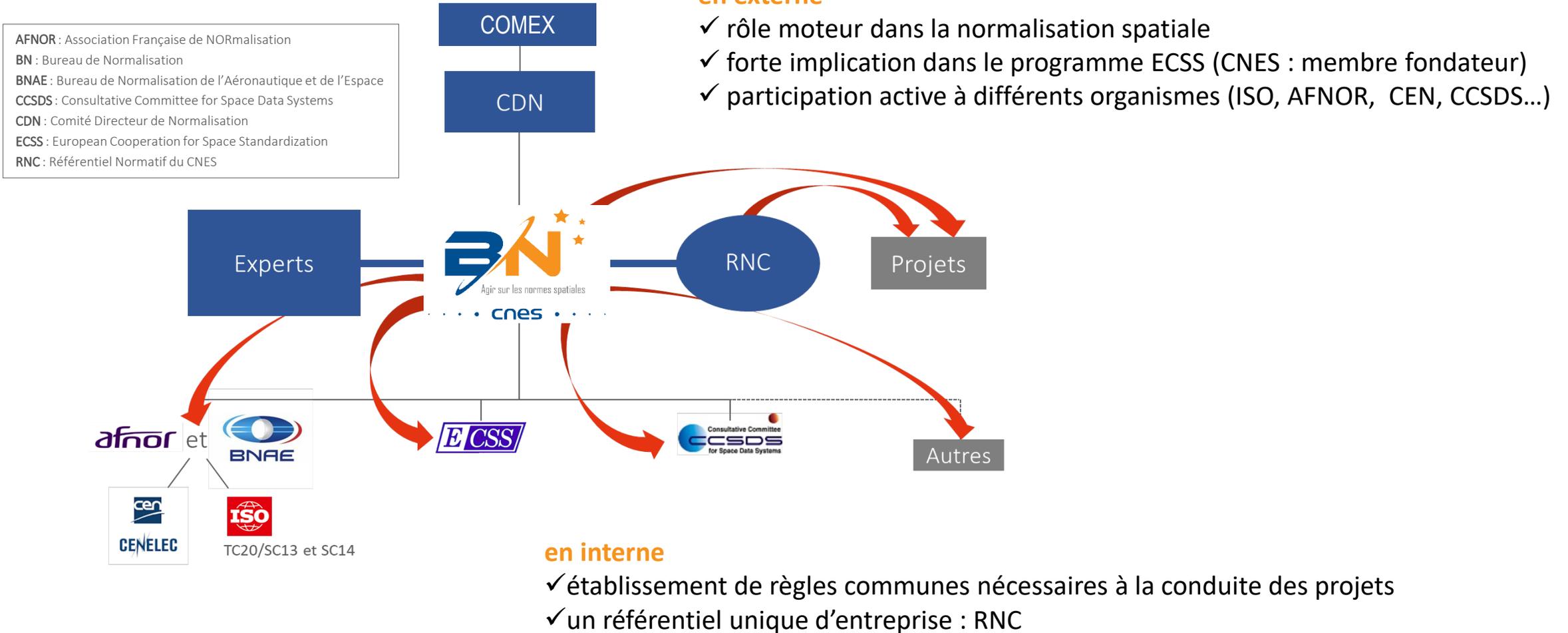
obtenir un produit capable de satisfaire aux besoins du client  
qualité, performances, délais et coûts



Domaines d'application : conception, réalisation, opérations  
 **systèmes spatiaux et transport spatial**

efforts combinés dans le domaine aéronautique et spatial

## cas particulier : l'approche du CNES



# Le référentiel normatif du CNES

ensemble complet et structuré de normes intercorrélées  
couvre complètement le cycle de vie du produit

ST = Standard / HB = Handbook / TM = Technical Memorandum / AS = Adopted Standard

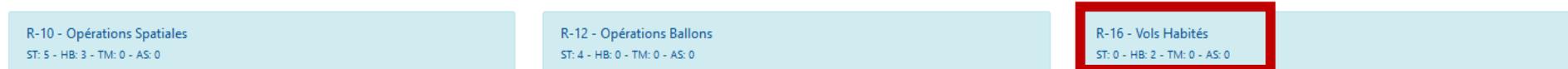
## S - System description



Mise à jour du REX  
Introduction de nouvelles normes  
Tailorisation (matrice d'applicabilité)  
Simplification de l'accès (New Space)

*plus de 200 documents (libre accès via intranet)*

## R - Regulation



# La branche ECSS assurance produit et autres normes applicables pour la maîtrise de la contamination

**Q-70 discipline**  
Materials, mechanical parts and processes

**ST-70**  
materials, mechanical parts and processes

**ST-70-01** R  
Cleanliness and contamination control



**ISO 15388**  
Contamination and cleanliness control

**IEST CC 1246E**  
Product Cleanliness Levels – Applications, Requirements, and Determination

## plan de propreté

- ✓ Description of sensitive items and sources of contaminants
- ✓ Cleanliness requirements
- ✓ Selection of materials and processes
- ✓ Environments and facilities
- ✓ MAIT activities
- ✓ Mitigation and corrective actions

**ISO 14644**  
Cleanrooms and associated controlled environments  
Parts : 1, 2, 5, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 17, 18

**ST-70-05**  
Detection of organic contamination of surfaces by infrared spectroscopy

**ST-70-50**  
Particles contamination monitoring for spacecraft systems and cleanrooms

**ASTM E1216**  
Sampling for Surface Particulate Contamination by Tape Lift

**ST-20-08**  
Storage, handling and transportation of spacecraft hardware

**ST-70-71**  
Data for selection of space materials and processes

**ST-70-02**  
Thermal vacuum outgassing test for the screening of space materials

**ST-70-54**  
Ultra cleaning of flight hardware

## protection planétaire

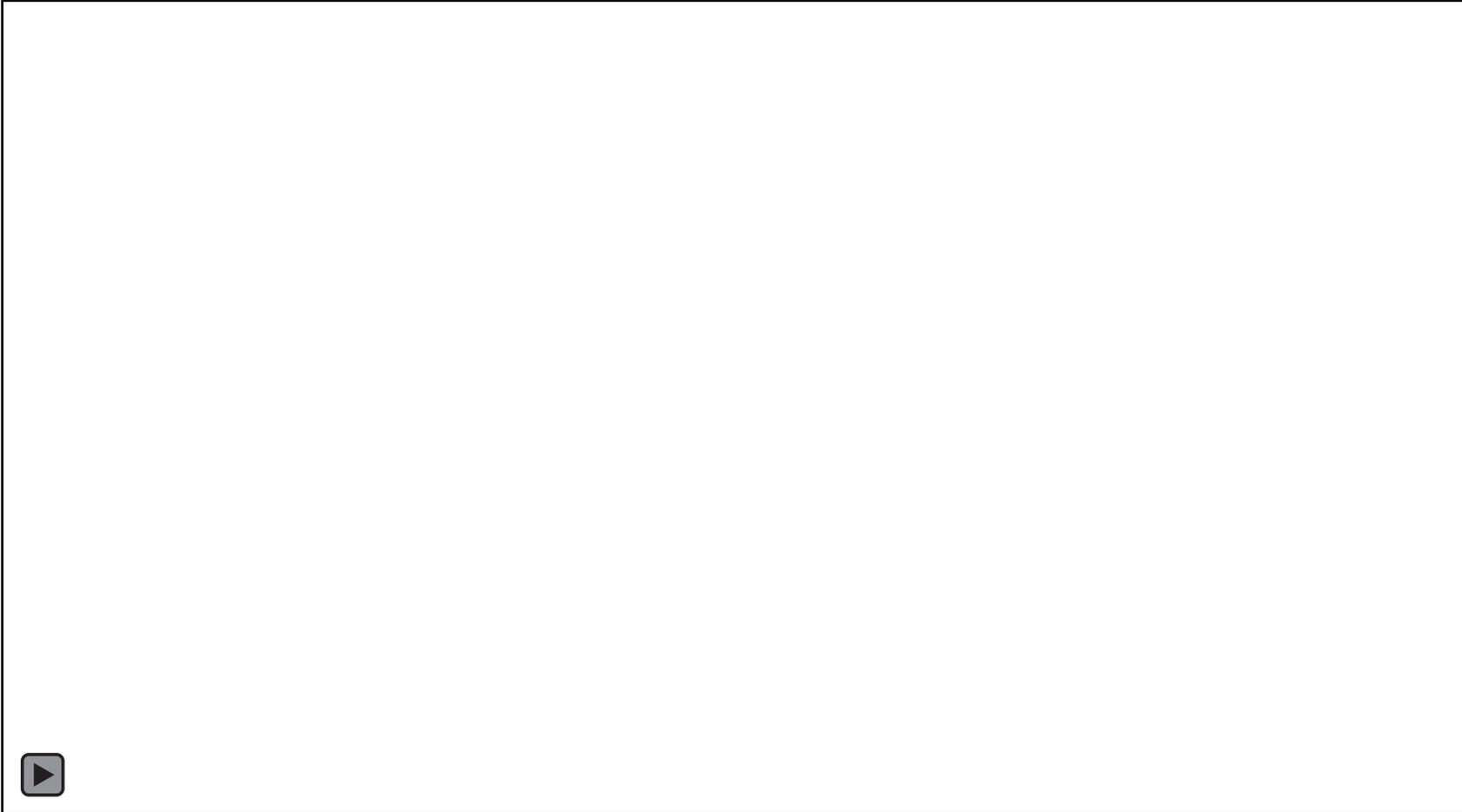
**ST-70-55**  
Microbial examination of flight hardware and cleanrooms

**ST-70-56**  
Vapour phase bioburden reduction for flight hardware

**ST-70-57**  
Dry heat bioburden reduction for flight hardware

**ST-70-58**  
Bioburden control of cleanrooms

autres domaines : vols habités, lanceurs

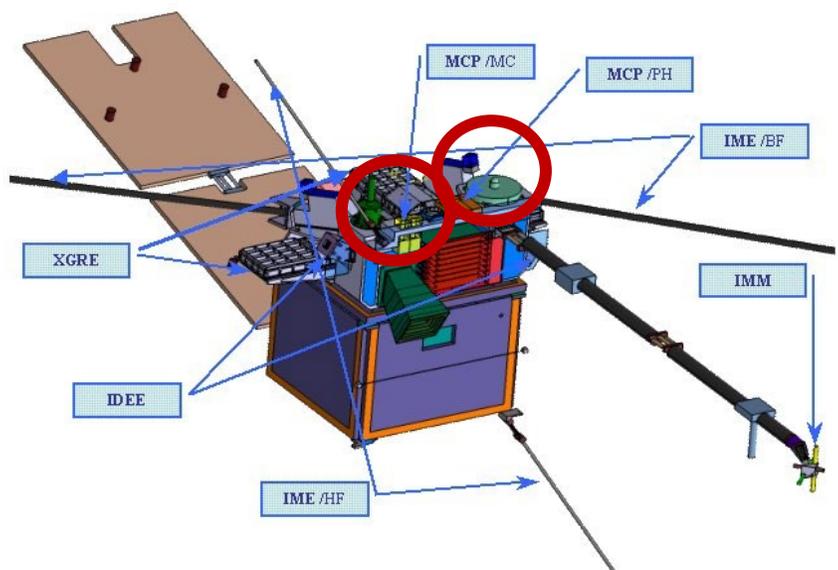




## CNES

- Responsable de la mission
- Maître d'œuvre Système, Satellite et segment sol et utilisateur
- Intégrateur charge utile et satellite
- Interface avec l'autorité de lancement
- Responsable des opérations et de l'exploitation

**Fourniture de nombreux instruments** : caméras, photomètres, détecteurs de rayons X et  $\gamma$ , détecteurs d'électrons de haute énergie, senseurs électromagnétiques...



- 2 instruments optiques : **PH et MC**
- analyse de risques : **haute sensibilité** de PH aux contaminants
- domaine spectral **UV très critique** : perte notoire de transmission



**Éléments de structures :** composite à matrice époxyde/cyanate  
polyaryléthercétone, polycarbonates  
polyuréthanes, polyamides, polyimides  
fluoropolymères

**résines/verniss**  
polyuréthanes, époxies  
silicones

**rubans adhésifs**  
polyesters, acryliques  
polyamides, fluorocarbones

**Câblages**  
fluoropolymères

**Colles**  
époxies, silicones  
polyuréthanes

**Lubrifiants**  
perfluorocarbones  
, fluorosilicones



**Revêtements de contrôle thermique**  
peintures noires et blanches : polyuréthanes,  
silicones  
Autres revêtements : fluoropolymères  
Isolation thermique : polyesters, polyimides

sélection standardisée des matériaux **RML < 1% - CVCM < 0.1%**

étude amont des cinétiques de dégazage

évaluation de la durée des prétraitements thermiques sous vide

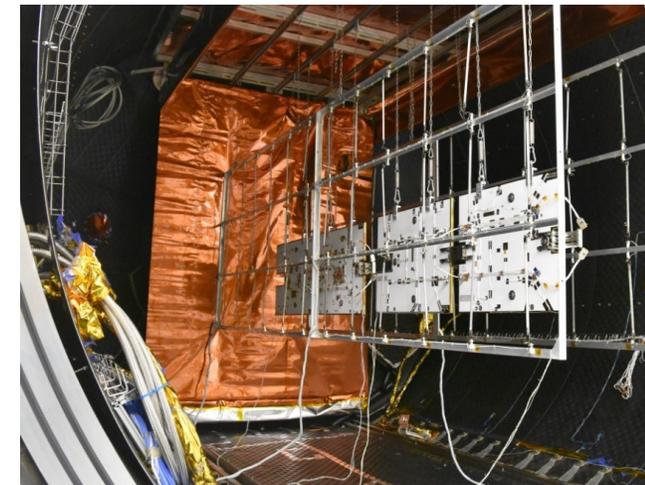
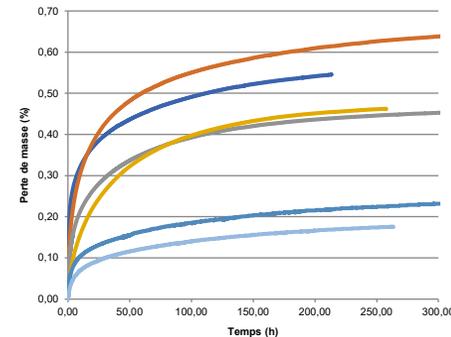
Tous les équipements ont été dégazés sauf rares exceptions.

<https://matrex.cnes.fr>

<https://outgassing.nasa.gov/>

[http://matdb.jaxa.jp/main\\_head\\_e.html](http://matdb.jaxa.jp/main_head_e.html)

<http://modesa.esa.int/materials>



- prévision de réchauffeurs pour les phases de décontamination en vol

Stratégie de réchauffage des optiques sensibles en partie haute externe du baffle associé

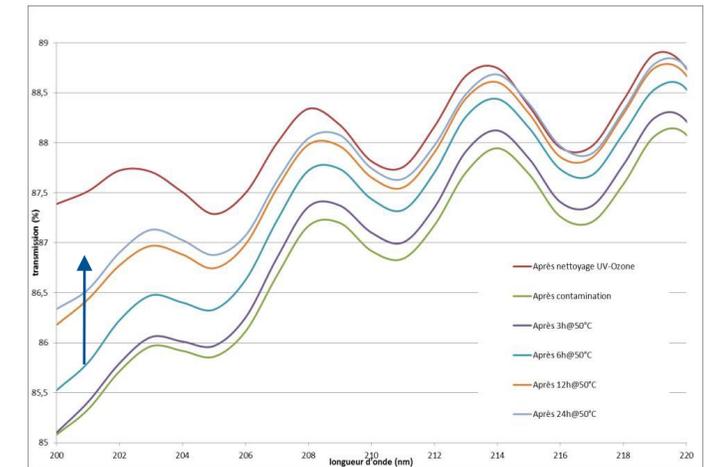
➤ implémentation d'une ligne dédiée et analyse thermique

Évaluation de l'efficacité en laboratoire : étude de la ré-émission des dépôts potentiels

1. contamination des optiques par les produits de dégazage de la colle scotchweld EC2216
2. dégazage sous vide à 50°C du substrat contaminé - température maximum acceptable en vol durée progressive jusqu'à 24h avec mesures spectrales intermédiaires

attente a minima **12h**  
pour obtenir un gain notable

⇒ paramètre entré dans le programme de vol



Transmission sur 200-220 nm du filtre PH1 après contamination et après les différentes durées de dégazage

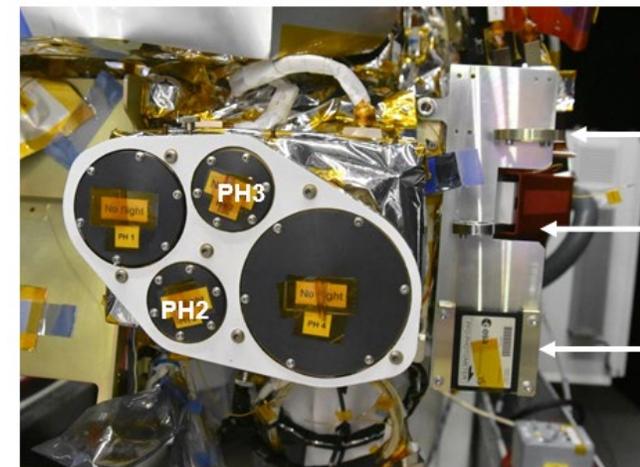
- protections

Vérification de l'efficacité

Compatibilité avec les environnements d'essais : vide, vibrations....

- Interface mécanique pour les témoins de suivi

- Orientation des événements



Interface témoins

- ❑ vérification de la conformité des zones d'intégration (audits chez les différents partenaires)
- ❑ formation du personnel (plusieurs niveaux et plusieurs fois)
- ❑ choix des environnements ISO



cohérence avec les environnements avant livraison (ISO 5 ou ISO 8)

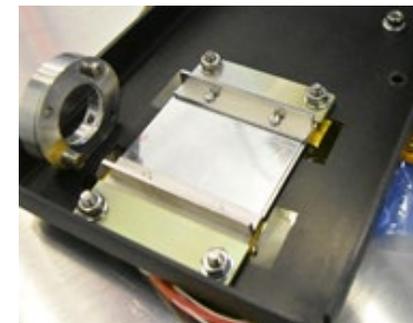


- ❑ suivi de la contamination moléculaire et particulaire à l'aide de compteurs et de témoins étapes et cumulatifs

 comparaison avec les budgets et prédictions

**témoins classiques ET témoins représentatifs  $\text{CaF}_2$  (PH) et  $\text{SiO}_2$  (MC)**  
⇒ suivi au plus près du bilan de contamination des équipements sensibles et des performances des optiques d'entrée (notamment après TVAC)

nouveau

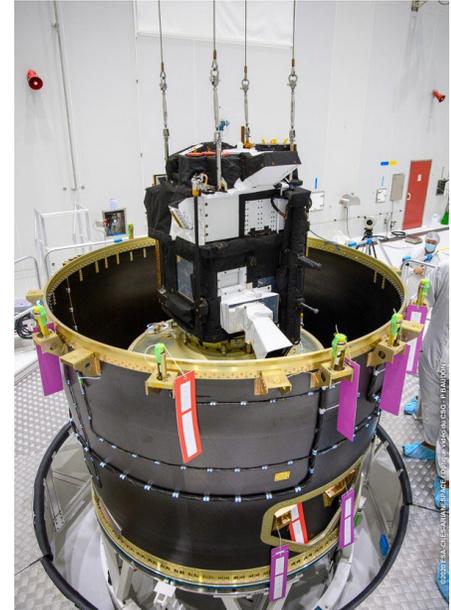
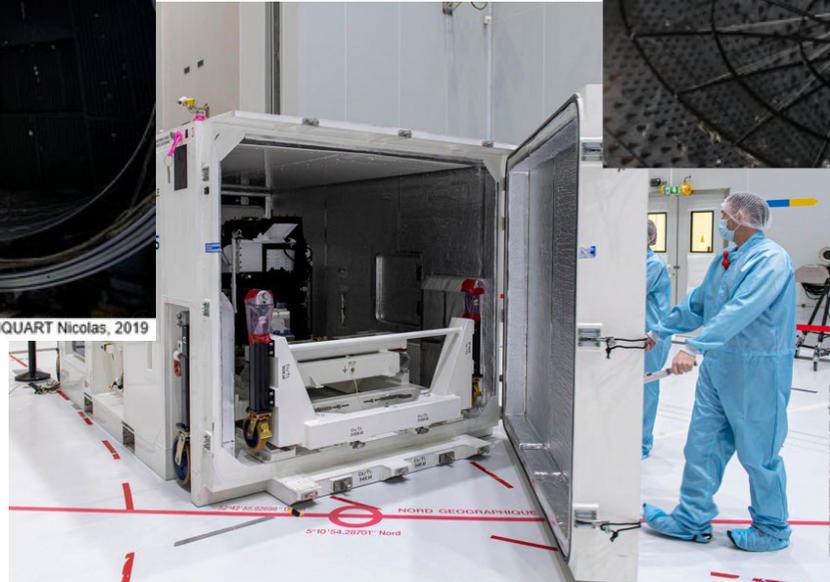


# Maîtrise de la contamination en salle d'intégration

- ❑ inspections propreté réalisées aux étapes critiques AIT (lumière blanche et UV)
- ❑ nettoyages au cas par cas afin de maîtriser les risques aux ouvertures des capots
- ❑ inspection des moyens sol / emballage
- ❑ sélection des consommables (à paraître ISO 14644-18)



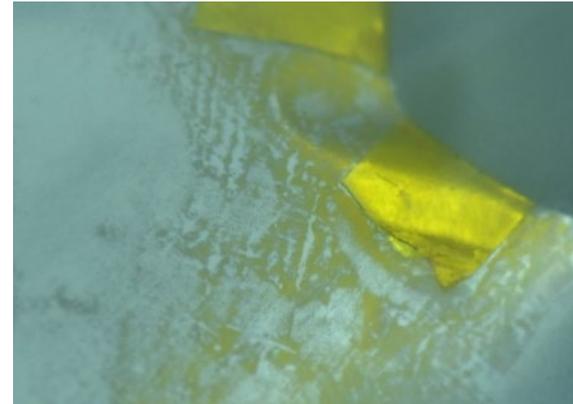
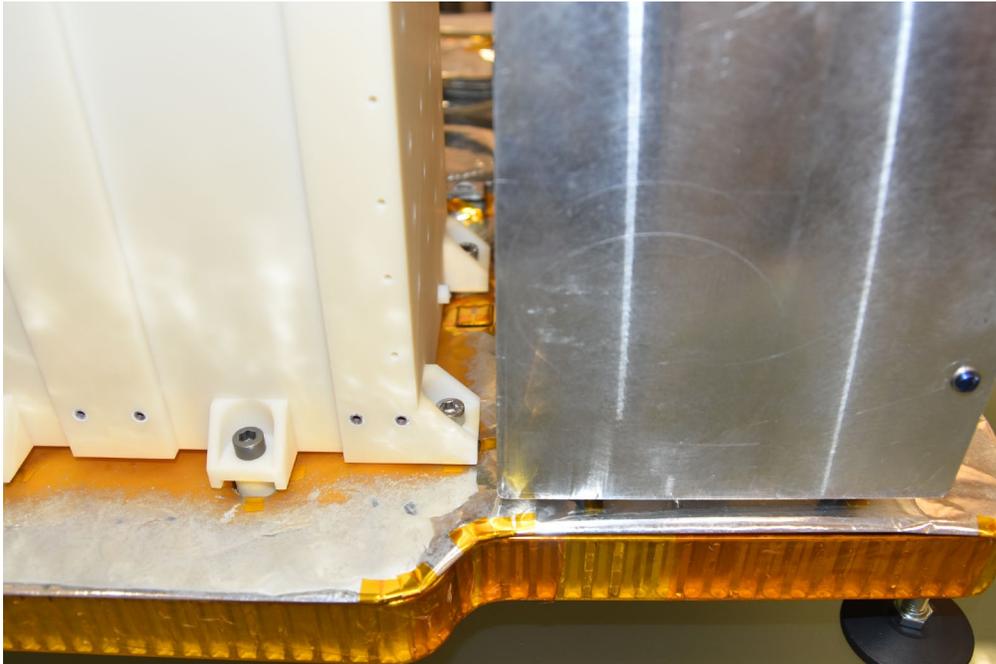
© CNES/TRONQUART Nicolas, 2019



Stockage propre pendant COVID

Focus sur anomalie matériau

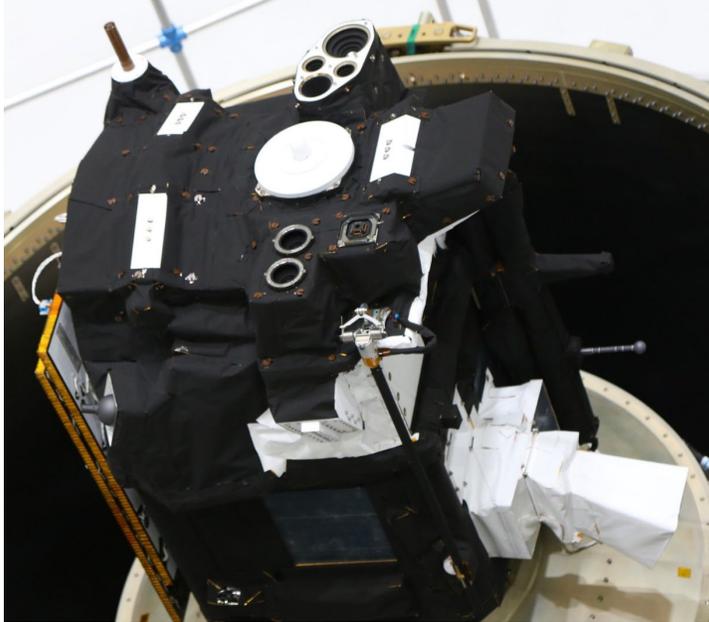
## Dégradation de MLI en contact avec une maquette polymère 3D



*L'attaque de l'aluminium est liée à la présence du photoinitiateur fluoré dans le polymère utilisé pour l'impression 3D.*

- ✓ vigilance vis-à-vis de l'introduction de nouveaux matériaux (ou équipements) en salle propre  
(ISO 14644-14 et 15)

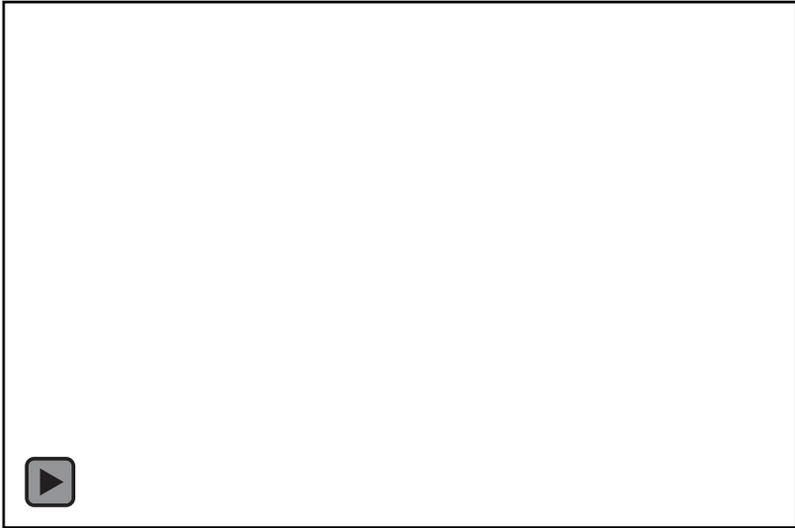
# Prêt pour le lancement



	MOC	PAC
PHU	✓	✓
MCU	✓	✓



The launcher trajectory is deviated. Stand-by until more information is available.



**Mardi 17 novembre, 8 minutes après le décollage, la mission VV17 du lanceur européen Vega devient un échec :** juste après l'allumage du moteur de l'étage supérieur AVUM, un écart de trajectoire est identifié et il apparaît que la vitesse du lanceur n'est alors plus assez suffisante pour la mise sur orbite des 2 satellites à bord, Taranis du CNES et Seosat-Ingenio de l'ESA.



**La commission d'enquête confirme que la défaillance est due à un câblage et une connexion incorrects des actionneurs électromécaniques du système de contrôle de vecteur de poussée de l'étage supérieur AVUM, entraînant une inversion des commandes de direction qui a conduit à la dégradation de la trajectoire et la perte du véhicule.**

**Les secrets des orages ne seront pas percés...**

## *normalisation spatiale*

Exigences, recommandations, méthodologies, bonnes pratiques

Basée sur RETEX

Reconnue par les pairs

Possibilité de tailoration

Enjeux considérables en termes d'efficacité pour la réalisation des projets

☺ réduction des coûts

☺ amélioration de la qualité et de la communication

effort permanent du CNES, en externe et en interne

référentiel vivant et évolutif : RNC

branche "assurance produit" (ECSS)

documents relatifs aux aspects matériaux et contamination

cycle de révision tous les 3 à 5 ans